

UNIVERSITÀ DI NAPOLI FEDERICO II

DIPARTIMENTO DI STRUTTURE
PER L'INGEGNERIA E L'ARCHITETTURA (DI.ST.)

DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA
INGEGNERIA STRUTTURALE GEOTECNICA E SISMICA

COORDINATORE PROF. LUCIANO ROSATI
XXIX CICLO



VINCENZO ANDOLFO

TESI DI DOTTORATO

**ANALISI SPERIMENTALE E TEORICA DEL
COMPORTAMENTO MECCANICO DI PANNELLI
IN LEGNO MASSICCIO ALLEGGERITI IN
RELAZIONE AL LORO UTILIZZO PER LE
COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA**

TUTOR PROF. ING. BRUNO CALDERONI

2017

A Mariarita

Alla mia famiglia

Alla mia comunità

Ringraziamenti

Desidero, innanzitutto, ringraziare il Prof. Bruno Calderoni per i preziosi insegnamenti durante tutti questi anni a partire dal corso di Tecnica delle Costruzioni fino a questa esperienza di dottorato. Lo ringrazio per avermi dato la possibilità di lavorare al suo fianco in questi anni. Ho molto apprezzato i suoi consigli sul risolvere i problemi che si possono trovare sia nel preparare una tesi sperimentale ma anche quelli della vita professionale di tutti i giorni. Insomma di sicuro l'insegnamento più grande che mi ha dato è quello di avere sempre e comunque un approccio da ingegnere nella vita.

Ringrazio l'ingegnere Costantino Giubileo per i preziosi insegnamenti sia durante il corso di Costruzioni in Legno e ma anche per l'attenzione mostrata durante questo dottorato nel risolvere gli ostacoli trovati nella fase di preparazione e realizzazione delle prove e nella comprensione ed elaborazione dei risultati sperimentali.

Ringrazio la G.R. Sistemi nelle persone di Nicola ed Egidio Gioscia, che mi hanno dato la possibilità di effettuare la parte sperimentale della mia tesi. Tengo a sottolineare la loro generosità, disponibilità e professionalità. Un ringraziamento va anche all'Ing. Michele Simonetti per la disponibilità mostratami durante la fase di preparazione delle prove e per la loro esecuzione.

Ringrazio Mariarita per avermi aiutato in questi anni di dottorato, per avermi sostenuto sempre ed in ogni momento soprattutto nei momenti di sconforto e di crisi. Lei è stata la "valvola di sfogo" per tanti problemi trovati lungo questo percorso di dottorato. Sempre attenta alle mie difficoltà e sempre pronta ad ascoltarmi. Dedico a lei questo mio lavoro, frutto di tanti sacrifici, perché è sempre stata al mio fianco e cosa stupenda lo sarà per tutta la vita.

Ringrazio tutta la mia famiglia per il sostegno morale, l'amore e l'aiuto concreto che hanno sempre mostrato per me. Dedico anche a loro questo mio lavoro perché senza il loro aiuto non sarei mai arrivato a questo traguardo. Ma in modo particolare ringrazio i miei genitori che non si sono mai stancati di sostenermi in tutte le mie decisioni e nei tanti momenti difficili, sempre attenti alle mie difficoltà e capaci di mostrarmi sempre ciò che conta veramente nella vita, se oggi sono qui il merito è soprattutto loro.

Un pensiero speciale va a nonno Vincenzo, nonno Giuseppe, nonna Carmela, nonna Nunzia, zio Ciro e zio Gaetano. Anche se oggi non sono presenti fisicamente sono sicuro che mi stanno guardando dal cielo. Ripercorrendo con la mente tutta la loro vita non posso non ricordare gli

innumerevoli momenti di gioia e svago passati con ognuno di loro. Li voglio ringraziare e salutare dal profondo del cuore, con la certezza che un giorno ci rivedremo tutti insieme.

Ringrazio tutta la X comunità che mi ha sempre sostenuto ed aiutato da ormai quindici anni ma in modo particolare nel mio percorso di studi universitario. Ormai i fratelli della mia comunità fanno parte della mia famiglia e della mia vita ed anche a loro dedico questo mio lavoro.

Infine ringrazio Dio per tutti i doni che mi ha donato nella vita, per il dono della vita, per avermi dato la possibilità di essere qui oggi, per essere diventato un ingegnere e per avermi fatto raggiungere il titolo di Dottore di Ricerca.

Napoli, Febbraio 2017

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 0.1	Edificio X-lam
Fig. 0.2	Sezione di un pannello POREPAN
Fig. 0.3	Pannello POREPAN
Fig. 1.1	Struttura dell'albero
Fig. 1.2	Suddivisione in strutture del tronco
Fig. 1.3	Direzioni principali del legno
Fig. 1.4	Microstruttura del legno
Fig. 1.5	Legno di conifera
Fig. 1.6	Durame e alburno
Fig. 1.7	Rappresentazione schematica del comportamento della singola fibra, riduzione dell'umidità dal legno fresco ($u=60\%$) a quello anidro ($u=0\%$).
Fig. 1.8	Variazioni volumetriche nelle direzioni anatomiche
Fig. 1.9	Fessura a "V" (abete)
Fig. 1.10	Fibratura intrecciata e irregolare
Fig. 1.11	Cipollatura e fenditure da tensioni interne
Fig. 1.12	Legno di compressione (abete rosso)
Fig. 1.13	Elementi bidimensionali
Fig. 1.14	Fasi di lavorazione dei segati
Fig. 1.15	Giunto a pettine
Fig. 1.16	Prodotti ottenuti dal legno massiccio
Fig. 1.17	Duo e trio
Fig. 1.18	Processo di realizzazione del pannello compensato
Fig. 1.19	Pannello stratificato
Fig. 1.20	Pannello OSB
Fig. 2.1	Cubetto di materiale
Fig. 2.2	Distanza delle tavole dall'asse midollare
Fig. 2.3	Diagrammi σ - ϵ del legno netto
Fig. 2.4	Riduzione della resistenza a compressione al variare dell'angolo di inclinazione dello sforzo (criterio di Hankinson)
Fig. 2.5	Diagrammi σ - ϵ del legno strutturale
Fig. 3.1	Macchine di prova
Fig. 3.2	Macchina per prove a flessione e trasduttore elettronico
Fig. 3.3	Macchina per prove a compressione su legno
Fig. 3.4	Macchina per prove a instabilità
Fig. 3.5	Macchina per prove a compressione su provini in cls
Fig. 3.6	Cerniera cilindrica

Fig. 3.7	Pianta del banco di prova
Fig. 3.8	Pianta del banco dalla parte inferiore
Fig. 3.9	Sezione longitudinale del vitone di pressione
Fig. 3.10	Sezione trasversale del vitone di pressione
Fig. 3.11	Progetto appoggi
Fig. 3.12	Appoggi
Fig. 3.13	Macchina per prove a trazione su barre di acciaio
Fig. 3.14	Attrezzature per prove con carico orizzontale
Fig. 3.15	Telaio di contrasto in acciaio per prove su parete
Fig. 3.16	Attuatore MTS serie 243 per prove su parete
Fig. 4.1	Schema macchina di prova
Fig. 4.2	Dimensioni pannello abete-abete n. 1
Fig. 4.3	Grafico F- Δ pannello abete-abete n. 1
Fig. 4.4	Dimensioni pannello abete-abete n. 2
Fig. 4.5	Grafico F- Δ pannello abete-abete n. 2
Fig. 4.6	Dimensioni pannello abete-abete n. 3
Fig. 4.7	Grafico F- Δ pannello abete-abete n. 3
Fig. 4.8	Dimensioni pannello abete-larice n. 1
Fig. 4.9	Grafico F- Δ pannello abete-larice n. 1
Fig. 4.10	Dimensioni pannello abete-larice n. 2
Fig. 4.11	Grafico F- Δ pannello abete-larice n. 2
Fig. 4.12	Dimensioni pannello abete-larice n. 3
Fig. 4.13	Grafico F- Δ pannello abete-larice n. 3
Fig. 4.14	Dimensioni pannello larice-larice n. 1
Fig. 4.15	Grafico F- Δ pannello larice-larice n. 1
Fig. 4.16	Dimensioni pannello larice-larice n. 2
Fig. 4.17	Grafico F- Δ pannello larice-larice n. 2
Fig. 4.18	Dimensioni pannello larice-larice n. 3
Fig. 4.19	Grafico F- Δ pannello larice-larice n. 3
Fig. 5.1	Composizione del pannello Porepan
Fig. 5.2	Dimensioni del provino di legno strutturale
Fig. 5.3	Centraggio provini (prove a flessione su tavole)
Fig. 5.4	Configurazione di prova (prove a flessione su tavole)
Fig. 5.5	Configurazione di prova seconda la norma UNI-EN 408 (prove a flessione su tavole)
Fig. 5.6	Diagramma forza-abbassamento (provino P.I.0.F)
Fig. 5.7	Foto provino P.I.0.F
Fig. 5.8	Diagramma forza-abbassamento (provino P.I.1.F)

Fig. 5.9	Foto provino P.I.1.F
Fig. 5.10	Diagramma forza abbassamento (provino P.I.2.F)
Fig. 5.11	Foto provino P.I.2.F
Fig. 5.12	Diagramma forza-abbassamento (provino P.I.3.F)
Fig. 5.13	Foto provino P.I.3.F
Fig. 5.14	Diagramma riepilogativo forza-abbassamento (provini del primo gruppo)
Fig. 5.15	Diagramma forza-abbassamento (Provino P.I.4.F)
Fig. 5.16	Foto provino P.I.4.
Fig. 5.17	Diagramma forza-abbassamento (provino P.I.5.F)
Fig. 5.18	Foto provino P.I.5.F
Fig. 5.19	Diagramma forza-abbassamento (provino P.I.6.F)
Fig. 5.20	Foto provino P.I.6.F
Fig. 5.21	Diagramma riepilogativo forza-abbassamento (provini del secondo gruppo)
Fig. 5.22	Diagramma forza-abbassamento (provino P.I.7.F)
Fig. 5.23	Foto provino P.I.7.F
Fig. 5.24	Diagramma forza-abbassamento (provino P.I.8.F)
Fig. 5.25	Foto provino P.I.8.F
Fig. 5.26	Diagramma riepilogativo forza-abbassamento
Fig. 5.27	Diagramma riepilogativo forza-abbassamento contenente la media
Fig. 5.28	Dimensioni del provino di legno netto
Fig. 5.29	Configurazione di prova (prove di compressione su legno netto)
Fig. 5.30	Foto di fine prova dei provini di legno netto
Fig. 5.31	Diagramma $F-\delta$ (provino C1)
Fig. 5.32	Diagramma $\sigma-\epsilon$ (provino C1)
Fig. 5.33	Foto provino C1
Fig. 5.34	Diagramma $F-\delta$ (provino C2)
Fig. 5.35	Diagramma $\sigma-\epsilon$ (provino C2)
Fig. 5.36	Foto provino C2
Fig. 5.37	Diagramma $F-\delta$ (provino C3)
Fig. 5.38	Diagramma $\sigma-\epsilon$ (provino C3)
Fig. 5.39	Foto provino C3
Fig. 5.40	Diagramma $F-\delta$ (provino C4)
Fig. 5.41	Diagramma $\sigma-\epsilon$ (provino C4)
Fig. 5.42	Foto provino C4
Fig. 5.43	Diagramma $F-\delta$ (provino C5)
Fig. 5.44	Diagramma $\sigma-\epsilon$ (provino C5)
Fig. 5.45	Foto provino C5
Fig. 5.46	Diagramma riepilogativo $F-\delta$ (gruppo provini P.I.0.F)
Fig. 5.47	Diagramma riepilogativo $\sigma-\epsilon$ (gruppo provini P.I.0.F)

Fig. 5.48	Diagramma $F\text{-}\delta$ (provino C6)
Fig. 5.49	Diagramma $\sigma\text{-}\varepsilon$ (provino C6)
Fig. 5.50	Foto provino C6
Fig. 5.51	Diagramma $F\text{-}\delta$ (provino C7)
Fig. 5.52	Diagramma $\sigma\text{-}\varepsilon$ (provino C7)
Fig. 5.53	Foto provino C7
Fig. 5.54	Diagramma $F\text{-}\delta$ (provino C8)
Fig. 5.55	Diagramma $\sigma\text{-}\varepsilon$ (provino C8)
Fig. 5.56	Foto provino C8
Fig. 5.57	Diagramma $F\text{-}\delta$ (provino C9)
Fig. 5.58	Diagramma $\sigma\text{-}\varepsilon$ (provino C9)
Fig. 5.59	Foto provino C9
Fig. 5.60	Diagramma $F\text{-}\delta$ (provino C10)
Fig. 5.61	Diagramma $\sigma\text{-}\varepsilon$ (provino C10)
Fig. 5.62	Foto provino C10
Fig. 5.63	Diagramma riepilogativo $F\text{-}\delta$ (gruppo provini P.I.1.F)
Fig. 5.64	Diagramma riepilogativo $\sigma\text{-}\varepsilon$ (gruppo provini P.I.1.F)
Fig. 5.65	Diagramma $F\text{-}\delta$ (provino C11)
Fig. 5.66	Diagramma $\sigma\text{-}\varepsilon$ (provino C11)
Fig. 5.67	Foto provino C11
Fig. 5.68	Diagramma $F\text{-}\delta$ (provino C12)
Fig. 5.69	Diagramma $\sigma\text{-}\varepsilon$ (provino C12)
Fig. 5.70	Foto provino C12
Fig. 5.71	Diagramma $F\text{-}\delta$ (provino C13)
Fig. 5.72	Diagramma $\sigma\text{-}\varepsilon$ (provino C13)
Fig. 5.73	Foto provino C13
Fig. 5.74	Diagramma $F\text{-}\delta$ (provino C14)
Fig. 5.75	Diagramma $\sigma\text{-}\varepsilon$ (provino C14)
Fig. 5.76	Foto provino C14
Fig. 5.77	Diagramma $F\text{-}\delta$ (provino C15)
Fig. 5.78	Diagramma $\sigma\text{-}\varepsilon$ (provino C15)
Fig. 5.79	Foto provino C15
Fig. 5.80	Diagramma riepilogativo $F\text{-}\delta$ (gruppo provini P.I.2.F)
Fig. 5.81	Diagramma riepilogativo $\sigma\text{-}\varepsilon$ (gruppo provini P.I.2.F)
Fig. 5.82	Diagramma $F\text{-}\delta$ (provino C16)
Fig. 5.83	Diagramma $\sigma\text{-}\varepsilon$ (provino C16)
Fig. 5.84	Foto provino C16
Fig. 5.85	Diagramma $F\text{-}\delta$ (provino C17)
Fig. 5.86	Diagramma $\sigma\text{-}\varepsilon$ (provino C17)

Fig. 5.87	Foto provino C17
Fig. 5.88	Diagramma F- δ (provino C18)
Fig. 5.89	Diagramma σ - ε (provino C18)
Fig. 5.90	Foto provino C18
Fig. 5.91	Diagramma F- δ (provino C19)
Fig. 5.92	Diagramma σ - ε (provino C19)
Fig. 5.93	Foto provino C19
Fig. 5.94	Diagramma F- δ (provino C20)
Fig. 5.95	Diagramma σ - ε (provino C20)
Fig. 5.96	Foto provino C20
Fig. 5.97	Diagramma riepilogativo F- δ (gruppo provini P.I.3.F)
Fig. 5.98	Diagramma riepilogativo σ - ε (gruppo provini P.I.3.F)
Fig. 5.99	Diagramma F- δ (provino C21)
Fig. 5.100	Diagramma σ - ε (provino C21)
Fig. 5.101	Foto provino C21
Fig. 5.102	Diagramma F- δ (provino C22)
Fig. 5.103	Diagramma σ - ε (provino C22)
Fig. 5.104	Foto provino C22
Fig. 5.105	Diagramma F- δ (provino C23)
Fig. 5.106	Diagramma σ - ε (provino C23)
Fig. 5.107	Foto provino C23
Fig. 5.108	Diagramma F- δ (provino C24)
Fig. 5.109	Diagramma σ - ε (provino C24)
Fig. 5.110	Foto provino C24
Fig. 5.111	Diagramma F- δ (provino C25)
Fig. 5.112	Diagramma σ - ε (provino C25)
Fig. 5.113	Foto provino C25
Fig. 5.114	Diagramma riepilogativo F- δ (gruppo provini P.I.4.F)
Fig. 5.115	Diagramma riepilogativo σ - ε (gruppo provini P.I.4.F)
Fig. 5.116	Diagramma F- δ (provino C26)
Fig. 5.117	Diagramma σ - ε (provino C26)
Fig. 5.118	Foto provino C2
Fig. 5.119	Diagramma F- δ (provino C27)
Fig. 5.120	Diagramma σ - ε (provino C27)
Fig. 5.121	Foto provino C27
Fig. 5.122	Diagramma F- δ (provino C28)
Fig. 5.123	Diagramma σ - ε (provino C28)
Fig. 5.124	Foto provino C28
Fig. 5.125	Diagramma F- δ (provino C29)

Fig. 5.126	Diagramma σ - ε (provino C29)
Fig. 5.127	Foto provino C29
Fig. 5.128	Diagramma F- δ (provino C30)
Fig. 5.129	Diagramma σ - ε (provino C30)
Fig. 5.130	Foto provino C30
Fig. 5.131	Diagramma riepilogativo F- δ (gruppo provini P.I.5.F)
Fig. 5.132	Diagramma riepilogativo σ - ε (gruppo provini P.I.5.F)
Fig. 5.133	Diagramma F- δ (provino C31)
Fig. 5.134	Diagramma σ - ε (provino C31)
Fig. 5.135	Foto provino C31
Fig. 5.136	Diagramma F- δ (provino C32)
Fig. 5.137	Diagramma σ - ε (provino C32)
Fig. 5.138	Foto provino C32
Fig. 5.139	Diagramma F- δ (provino C33)
Fig. 5.140	Diagramma σ - ε (provino C33)
Fig. 5.141	Foto provino C33
Fig. 5.142	Diagramma F- δ (provino C34)
Fig. 5.143	Diagramma σ - ε (provino C34)
Fig. 5.144	Foto provino C34
Fig. 5.145	Diagramma F- δ (provino C35)
Fig. 5.146	Diagramma σ - ε (provino C35)
Fig. 5.147	Foto provino C35
Fig. 5.148	Diagramma riepilogativo F- δ (gruppo provini P.I.6.F)
Fig. 5.149	Diagramma riepilogativo σ - ε (gruppo provini P.I.6.F)
Fig. 5.150	Diagramma F- δ (provino C36)
Fig. 5.151	Diagramma σ - ε (provino C36)
Fig. 5.152	Foto provino C36
Fig. 5.153	Diagramma F- δ (provino C37)
Fig. 5.154	Diagramma σ - ε (provino C37)
Fig. 5.155	Foto provino C37
Fig. 5.156	Diagramma F- δ (provino C38)
Fig. 5.157	Diagramma σ - ε (provino C38)
Fig. 5.158	Foto provino C38
Fig. 5.159	Diagramma F- δ (provino C39)
Fig. 5.160	Diagramma σ - ε (provino C39)
Fig. 5.161	Foto provino C39
Fig. 5.162	Diagramma F- δ (provino C40)
Fig. 5.163	Diagramma σ - ε (provino C40)
Fig. 5.164	Foto provino C40

Fig. 5.165	Diagramma riepilogativo $F-\delta$ (gruppo provini P.I.7.F)
Fig. 5.166	Diagramma riepilogativo $\sigma-\varepsilon$ (gruppo provini P.I.7.F)
Fig. 5.167	Diagramma $F-\delta$ (provino C41)
Fig. 5.168	Diagramma $\sigma-\varepsilon$ (provino C41)
Fig. 5.169	Foto provino C41
Fig. 5.170	Diagramma $F-\delta$ (provino C42)
Fig. 5.171	Diagramma $\sigma-\varepsilon$ (provino C42)
Fig. 5.172	Foto provino C42
Fig. 5.173	Diagramma $F-\delta$ (provino C43)
Fig. 5.174	Diagramma $\sigma-\varepsilon$ (provino C43)
Fig. 5.175	Foto provino C43
Fig. 5.176	Diagramma $F-\delta$ (provino C44)
Fig. 5.177	Diagramma $\sigma-\varepsilon$ (provino C44)
Fig. 5.178	Foto provino C44
Fig. 5.179	Diagramma $F-\delta$ (provino C45)
Fig. 5.180	Diagramma $\sigma-\varepsilon$ (provino C45)
Fig. 5.181	Foto provino C45
Fig. 5.182	Diagramma riepilogativo $F-\delta$ (gruppo provini P.I.8.F)
Fig. 5.183	Diagramma riepilogativo $\sigma-\varepsilon$ (gruppo provini P.I.8.F)
Fig. 5.184	Diagramma riepilogativo medio $F-\delta$
Fig. 5.185	Diagramma riepilogativo medio $\sigma-\varepsilon$
Fig. 5.186	Dimensioni dei provini da testare (prove a taglio indiretto)
Fig. 5.187	Configurazione di prova (prove a taglio indiretto)
Fig. 5.188	Posizionamento appoggi e coltello di carico
Fig. 5.189	Diagramma forza-spostamento (provino T1)
Fig. 5.190	Foto provino T1
Fig. 5.191	Diagramma forza-spostamento (provino T2)
Fig. 5.192	Foto provino T2
Fig. 5.193	Diagramma forza-spostamento (provino T3)
Fig. 5.194	Foto provino T3
Fig. 5.195	Diagramma riepilogativo forza-spostamento del primo gruppo
Fig. 5.196	Morsetto per favorire lo scorrimento
Fig. 5.197	Diagramma forza-spostamento (provino T4)
Fig. 5.198	Foto provino T4
Fig. 5.199	Diagramma forza-spostamento (provino T5)
Fig. 5.200	Foto provino T5
Fig. 5.201	Diagramma forza-spostamento (provino T6)
Fig. 5.202	Foto provino T6
Fig. 5.203	Diagramma riepilogativo forza-spostamento del secondo gruppo

Fig. 5.204	Diagramma complessivo forza-spostamento
Fig. 5.205	Provino di eps
Fig. 5.206	Diagramma σ - ϵ (provino di eps)
Fig. 5.207	Foto provino eps (inizio e fine prova)
Fig. 5.208	Viste laterali dei provini appartenenti al gruppo M
Fig. 5.209	Vista assonometrica dei provini appartenenti al gruppo M
Fig. 5.210	Provini appartenenti al gruppo M
Fig. 5.211	Viste laterali dei provini appartenenti al gruppo N
Fig. 5.212	Vista assonometrica dei provini appartenenti al gruppo M
Fig. 5.213	Provini appartenenti al gruppo N
Fig. 5.214	Diagramma forza scorrimento del provino <i>Piastra 1</i>
Fig. 5.215	Diagramma tensione scorrimento del provino <i>Piastra 1</i>
Fig. 5.216	Provino <i>Piastra 1</i> ad inizio e fine prova
Fig. 5.217	Diagramma forza scorrimento del provino <i>Piastra 2</i>
Fig. 5.218	Diagramma tensione scorrimento del provino <i>Piastra 2</i>
Fig. 5.219	Provino <i>Piastra 2</i> ad inizio e fine prova
Fig. 5.220	Diagramma forza scorrimento del provino <i>Piastra 3</i>
Fig. 5.221	Diagramma tensione scorrimento del provino <i>Piastra 3</i>
Fig. 5.222	Provino <i>Piastra 3</i> ad inizio e fine prova
Fig. 5.223	Diagramma forza scorrimento dei provini <i>Piastra 1 – Piastra 2 – Piastra 3</i>
Fig. 5.224	Diagramma tensione scorrimento dei provini <i>Piastra 1 - Piastra 2 - Piastra 3</i>
Fig. 5.225	Diagramma forza scorrimento del provino <i>Piastra 4</i>
Fig. 5.226	Diagramma tensione scorrimento del provino <i>Piastra 4</i>
Fig. 5.227	Provino <i>Piastra 4</i> ad inizio e fine prova
Fig. 5.228	Diagramma forza scorrimento del provino <i>Piastra 5</i>
Fig. 5.229	Diagramma tensione scorrimento del provino <i>Piastra 5</i>
Fig. 5.230	Provino <i>Piastra 5</i> ad inizio e fine prova
Fig. 5.231	Diagramma forza scorrimento dei provini <i>Piastra 4 – Piastra 5</i>
Fig. 5.232	Diagramma tensione scorrimento del provino <i>Piastra 4 – Piastra 5</i>
Fig. 5.233	Diagramma forza scorrimento dei provini <i>Piastra 1 - Piastra 2 - Piastra 3 - Piastra 4 - Piastra 5</i>
Fig. 5.234	Diagramma tensione scorrimento dei provini <i>Piastra 1 - Piastra 2 - Piastra 3 - Piastra 4 - Piastra 5</i>
Fig. 5.235	Pesatura del provino, macchina di prova e posizionamento provino
Fig. 5.236	Foto provino CLS1 (inizio e fine prova)
Fig. 5.237	Foto provino CLS2 (inizio e fine prova)
Fig. 5.238	<i>Provino 1</i> - barra filettata M24
Fig. 5.239	<i>Provino 2</i> e <i>Provino 3</i> - barre filettate M10
Fig. 5.240	<i>Provino 4</i> e <i>Provino 5</i> - barre lisce M10
Fig. 5.241	<i>Provino 4</i> e <i>Provino 5</i> - Bulloni M10 8.8

Fig. 5.242	Bulloni M10 8.8 con la testa tagliata
Fig. 5.243	Schema di prova a trazione
Fig. 5.244	Diagramma forza - allungamento del provino <i>Provino 1</i>
Fig. 5.245	Diagramma tensione - deformazione del provino <i>Provino 1</i>
Fig. 5.246	Provino <i>Provino 1</i> ad inizio, durante e fine prova
Fig. 5.247	Diagramma forza - allungamento del provino <i>Provino 2</i>
Fig. 5.248	Diagramma tensione - deformazione del provino <i>Provino 2</i>
Fig. 5.249	Provino <i>Provino 2</i> ad inizio, durante e fine prova
Fig. 5.250	Diagramma forza - allungamento del provino <i>Provino 3</i>
Fig. 5.251	Diagramma tensione - deformazione del provino <i>Provino 3</i>
Fig. 5.252	Provino <i>Provino 3</i> ad inizio, durante e fine prova
Fig. 5.253	Diagramma forza - allungamento dei provini <i>Provino 2</i> e <i>Provino 3</i>
Fig. 5.254	Diagramma tensione - deformazione dei provini <i>Provino 2</i> e <i>Provino 3</i>
Fig. 5.255	Diagramma forza - allungamento del provino <i>Provino 4</i>
Fig. 5.256	Diagramma tensione - deformazione del provino <i>Provino 4</i>
Fig. 5.257	Provino <i>Provino 4</i> ad inizio, durante e fine prova
Fig. 5.258	Diagramma forza - allungamento del provino <i>Provino 5</i>
Fig. 5.259	Diagramma tensione - deformazione del provino <i>Provino 5</i>
Fig. 5.260	Provino <i>Provino 5</i> ad inizio, durante e fine prova
Fig. 5.261	Diagramma forza - allungamento dei provini <i>Provino 4</i> e <i>Provino 5</i>
Fig. 5.262	Diagramma tensione - deformazione dei provini <i>Provino 4</i> e <i>Provino 5</i>
Fig. 5.263	Diagramma forza - allungamento del provino <i>Provino 6</i>
Fig. 5.264	Diagramma tensione - deformazione del provino <i>Provino 6</i>
Fig. 5.265	Provino <i>Provino 6</i> ad inizio, durante e fine prova
Fig. 5.266	Diagramma forza - allungamento del provino <i>Provino 7</i>
Fig. 5.267	Diagramma tensione - deformazione del provino <i>Provino 7</i>
Fig. 5.268	Provino <i>Provino 7</i> ad inizio, durante e fine prova
Fig. 5.269	Diagramma forza - allungamento dei provini <i>Provino 6</i> e <i>Provino 7</i>
Fig. 5.270	Diagramma tensione - deformazione dei provini <i>Provino 6</i> e <i>Provino 7</i>
Fig. 5.271	Dimensioni dei provini da testare
Fig. 5.272	Configurazione di prova
Fig. 5.273	Centraggio provini e posizionamento appoggi-coltello di carico
Fig. 5.274	Posizionamento trasduttori elettronici
Fig. 5.275	Diagramma forza-abbassamento provino F1 (potenziometro a filo)
Fig. 5.276	Diagramma forza-abbassamento provino F1 (trasduttori elettronici)
Fig. 5.277	Diagramma forza-schiacciamento eps provino F1
Fig. 5.278	Foto provino F1
Fig. 5.279	Diagramma forza-abbassamento provino F2 (potenziometro a filo)
Fig. 5.280	Diagramma forza-abbassamento provino F2 (trasduttori elettronici)

Fig. 5.281	Diagramma forza-schiacciamento eps provino F2
Fig. 5.282	Foto provino F2
Fig. 5.283	Diagramma forza-abbassamento provino F3 (potenziometro a filo)
Fig. 5.284	Diagramma forza-abbassamento provino F3 (trasduttori elettronici)
Fig. 5.285	Diagramma forza-schiacciamento eps provino F3
Fig. 5.286	Foto provino F3
Fig. 5.287	Diagramma riepilogativo forza-abbassamento
Fig. 5.288	Diagramma riepilogativo forza-schiacciamento eps
Fig. 5.289	Provini del primo gruppo
Fig. 5.290	Provini del secondo gruppo
Fig. 5.291	Fasi di costruzione dei provini
Fig. 5.292	Configurazione di prova provini del primo gruppo
Fig. 5.293	Configurazione di prova provini del secondo gruppo
Fig. 5.294	Centraggio provini
Fig. 5.295	Diagramma forza-abbassamento in mezzeria (provino P.C.S_1)
Fig. 5.296	Foto provino P.C.S_1
Fig. 5.297	Diagramma forza-abbassamento in mezzeria (provino P.C.S_2)
Fig. 5.298	Foto provino P.C.S_2
Fig. 5.299	Diagramma forza-abbassamento in mezzeria (provino P.C.S_3)
Fig. 5.300	Foto provino P.C.S_3
Fig. 5.301	Diagramma riepilogativo forza-abbassamento in mezzeria (provini del primo gruppo)
Fig. 5.302	Diagramma forza-abbassamento in mezzeria provino (P.C.S_4)
Fig. 5.303	Foto provino P.C.S_4
Fig. 5.304	Diagramma forza-abbassamento in mezzeria provino (P.C.S_5)
Fig. 5.305	Foto provino P.C.S_5
Fig. 5.306	Diagramma forza-abbassamento in mezzeria provino (P.C.S_6)
Fig. 5.307	Foto provino P.C.S_6
Fig. 5.308	Diagramma riepilogativo forza-abbassamento in mezzeria (provini del secondo gruppo)
Fig. 5.309	Configurazione di prova (misure in centimetri)
Fig. 5.310	Schema dei provini analizzati
Fig. 5.311	Foto dei provini
Fig. 5.312	Schema provino primo gruppo
Fig. 5.313	Grafico F- δ provino P1F
Fig. 5.314	Foto Provino P1F
Fig. 5.315	Grafico F- δ provino P2F
Fig. 5.316	Foto Provino P2F
Fig. 5.317	Grafico F- δ provino P3F
Fig. 5.318	Foto Provino P3F

Fig. 5.319	Grafico F- δ provino P1F, P2F, P3F e media
Fig. 5.320	Schema provino secondo gruppo
Fig. 5.321	Grafico F- δ provino P4F
Fig. 5.322	Foto Provino P4F
Fig. 5.323	Grafico F- δ provino P5F
Fig. 5.324	Foto Provino P5F
Fig. 5.325	Grafico F- δ provino P6F
Fig. 5.326	Foto Provino P6F
Fig. 5.327	Grafico F- δ provino P4F, P5F, P6F e media
Fig. 5.328	Schema provino terzo gruppo
Fig. 5.329	Grafico F- δ provino P7F
Fig. 5.330	Foto Provino P7F
Fig. 5.331	Grafico F- δ provino P8F
Fig. 5.332	Foto Provino P8F
Fig. 5.333	Grafico F- δ provino P9F
Fig. 5.334	Foto Provino P9F
Fig. 5.335	Grafico F- δ provino P7F, P8F, P9F e media
Fig. 5.336	Schema provino quarto gruppo
Fig. 5.337	Grafico F- δ provino P10F
Fig. 5.338	Foto Provino P10F
Fig. 5.339	Grafico F- δ provino P11F
Fig. 5.340	Foto Provino P11F
Fig. 5.341	Grafico F- δ provino P12F
Fig. 5.342	Foto Provino P12F
Fig. 5.343	Grafico F- δ provino P10F, P11F, P12F e media
Fig. 5.344	Schema provino quinto gruppo
Fig. 5.345	Grafico F- δ provino P13F
Fig. 5.346	Foto Provino P13F
Fig. 5.347	Grafico F- δ provino P14F
Fig. 5.348	Foto Provino P14F
Fig. 5.349	Grafico F- δ provino P15F
Fig. 5.350	Foto Provino P15F
Fig. 5.351	Grafico F- δ provino P13F, P14F, P15F e media
Fig. 5.352	Schema provino sesto gruppo
Fig. 5.353	Grafico F- δ provino P16F
Fig. 5.354	Foto Provino P16F
Fig. 5.355	Grafico F- δ provino P17F
Fig. 5.356	Foto Provino P17F
Fig. 5.357	Grafico F- δ provino P18F

Fig. 5.358	Foto Provino P18F
Fig. 5.359	Grafico F- δ provino P16F, P17F, P18F e media
Fig. 5.360	Grafico F- δ Confronto di tutti i grafici
	Grafico F- δ Confronto dei grafici medi dei vari gruppi
Fig. 5.371	Configurazione di prova (misure in centimetri)
Fig. 5.372	Strumentazione di prova
Fig. 5.373	Grafico F- δ provino F1
Fig. 5.374	Grafico F-scorrimento provino F1 tavola inferiore-eps
Fig. 5.375	Foto Provino F1
Fig. 5.376	Configurazione di prova (misure in centimetri)
Fig. 5.377	Strumentazione di prova
Fig. 5.378	Grafico F- δ provino F2
Fig. 5.379	Grafico F-scorrimento provino F2 tavola inferiore-eps lato sinistro
Fig. 5.380	Foto Provino F2
Fig. 5.381	Grafico F- δ provino F3
Fig. 5.382	Grafico F-scorrimento provino F3 tavola inferiore-eps
Fig. 5.383	Foto Provino F3
Fig. 5.384	Grafico F- δ provino F1, F2, F3 e media
Fig. 5.385	Grafico F-scorrimento provino F1, F2, F3 (tratto elastico iniziale)
Fig. 5.386	Grafico F- δ provino F4
Fig. 5.387	Grafico F-scorrimento provino F4 tavola inferiore-eps lato sinistro
Fig. 5.388	Foto Provino F4
Fig. 5.389	Grafico F- δ provino F5
Fig. 5.390	Grafico F-scorrimento provino F5 tavola inferiore-eps lato sinistro
Fig. 5.391	Foto Provino F5
Fig. 5.392	Grafico F- δ provino F6
Fig. 5.393	Grafico F-scorrimento provino F6 tavola inferiore-eps
Fig. 5.394	Foto Provino F6
Fig. 5.395	Grafico F- δ provino F4,F5, F6
Fig. 5.396	Grafico F-scorrimento provino F4, F5, F6 (tratto elastico iniziale)
Fig. 5.397	Grafico F- δ provino F7 prospetto anteriore
Fig. 5.398	Foto Provino F7
Fig. 5.399	Grafico F- δ provino F8 prospetto anteriore
Fig. 5.400	Foto Provino F8
Fig. 5.401	Grafico F- δ provino F9 prospetto anteriore
Fig. 5.402	Foto Provino F9
Fig. 5.403	Grafico F- δ provino F7,F8,F9 e media.
Fig. 5.404	Grafico F- δ provino F10 prospetto anteriore
Fig. 5.405	Foto Provino F10

Fig. 5.406	Grafico F- δ provino F11 prospetto anteriore
Fig. 5.407	Foto Provino F11
Fig. 5.408	Grafico F- δ provino F12 prospetto anteriore
Fig. 5.409	Foto Provino F12
Fig. 5.409	Grafico F- δ provino F10,F12,F12 e media.
Fig. 5.410	Grafico F- δ media delle medie
Fig. 5.411	Schema generale di prova
Fig. 5.412	Schema generale del collegamento
Fig. 5.413	Schema della prova effettuata sul provino <i>P.C_a_1</i>
Fig. 5.414	Diagramma forza abbassamento in mezzeria del provino <i>P.C_a_1</i>
Fig. 5.415	Provino <i>P.C_a_1</i> ad inizio e fine prova
Fig. 5.416	Schema della prova effettuata sul provino <i>P.C_a_2</i>
Fig. 5.417	Diagramma forza abbassamento in mezzeria del provino <i>P.C_a_2</i>
Fig. 5.418	Provino <i>P.C_a_2</i> ad inizio e fine prova
Fig. 5.419	Diagramma forza abbassamento in mezzeria dei provini <i>P.C_a_1</i> e <i>P.C_a_2</i>
Fig. 5.420	Schema della prova effettuata sul provino <i>P.C_b_1</i>
Fig. 5.421	Diagramma forza abbassamento in mezzeria del provino <i>P.C_b_1</i>
Fig. 5.422	Provino <i>P.C_b_1</i> ad inizio e fine prova
Fig. 5.423	Schema della prova effettuata sul provino <i>P.C_c_1</i>
Fig. 5.424	Diagramma forza abbassamento in mezzeria del provino <i>P.C_c_1</i>
Fig. 5.425	Provino <i>P.C_c_1</i> ad inizio e fine prova
Fig. 5.426	Schema della prova effettuata sul provino <i>P.C_c_2</i>
Fig. 5.427	Diagramma forza abbassamento in mezzeria del provino <i>P.C_c_2</i>
Fig. 5.428	Provino <i>P.C_c_2</i> ad inizio e fine prova
Fig. 5.429	Diagramma forza abbassamento in mezzeria dei provini <i>P.C_c_1</i> e <i>P.C_c_2</i>
Fig. 5.430	Schema della prova effettuata sul provino <i>P.C_d_1</i>
Fig. 5.431	Diagramma forza abbassamento in mezzeria del provino <i>P.C_d_1</i>
Fig. 5.432	Provino <i>P.C_d_1</i> ad inizio e fine prova
Fig. 5.433	Schema della prova effettuata sul provino <i>P.C_d_2</i>
Fig. 5.434	Diagramma forza abbassamento in mezzeria del provino <i>P.C_d_2</i>
Fig. 5.435	Provino <i>P.C_d_2</i> a inizio e fine prova
Fig. 5.436	Diagramma forza abbassamento in mezzeria dei provini <i>P.C_d_1</i> e <i>P.C_d_2</i>
Fig. 5.437	Configurazione di prova (prove di instabilità)
Fig. 5.438	Snodo superiore, base inferiore e superiore
Fig. 5.439	Tipologia dei cinque gruppi provini
Fig. 5.440	Foto inizio prova dei cinque gruppi di provini
Fig. 5.441	Foto fine prova dei cinque gruppi di provini

Fig. 5.442	Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.0)
Fig. 5.443	Diagramma σ - ϵ (provino P.I.0)
Fig. 5.444	Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.0)
Fig. 5.445	Foto provino P.I.0
Fig. 5.446	Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.1)
Fig. 5.447	Diagramma σ - ϵ (provino P.I.1)
Fig. 5.448	Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.1)
Fig. 5.449	Foto provino P.I.1
Fig. 5.450	Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.2)
Fig. 5.451	Diagramma σ - ϵ (provino P.I.2)
Fig. 5.452	Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.2)
Fig. 5.453	Foto provino P.I.2
Fig. 5.454	Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.3)
Fig. 5.455	Diagramma σ - ϵ (provino P.I.3)
Fig. 5.456	Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.3)
Fig. 5.457	Foto provino P.I.3
Fig. 5.458	Diagramma riepilogativo forza-accorciamento in testa (provini del primo gruppo)
Fig. 5.459	Diagramma riepilogativo σ - ϵ (provini del primo gruppo)
Fig. 5.460	Diagramma riepilogativo forza-spostamento laterale (provini del primo gruppo)
Fig. 5.461	Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.4)
Fig. 5.462	Diagramma σ - ϵ (provino P.I.4)
Fig. 5.463	Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.4)
Fig. 5.464	Foto provino P.I.4
Fig. 5.465	Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.5)
Fig. 5.466	Diagramma σ - ϵ (provino P.I.5)
Fig. 5.467	Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.5)
Fig. 5.468	Foto provino P.I.5
Fig. 5.469	Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.6)
Fig. 5.470	Diagramma σ - ϵ (provino P.I.6)
Fig. 5.471	Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.6)
Fig. 5.472	Foto provino P.I.6
Fig. 5.473	Diagramma riepilogativo forza-accorciamento in testa (provini del secondo gruppo)
Fig. 5.474	Diagramma riepilogativo σ - ϵ (provini del secondo gruppo)
Fig. 5.475	Diagramma riepilogativo forza-spostamento laterale (provini del secondo gruppo)
Fig. 5.476	Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.7)
Fig. 5.477	Diagramma σ - ϵ (provino P.I.7)
Fig. 5.478	Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.7)
Fig. 5.479	Foto provino P.I.7

Fig. 5.480	Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.8)
Fig. 5.481	Diagramma σ - ϵ (provino P.I.8)
Fig. 5.482	Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.8)
Fig. 5.483	Foto provino P.I.8
Fig. 5.484	Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.9)
Fig. 5.485	Diagramma σ - ϵ (provino P.I.9)
Fig. 5.486	Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.9)
Fig. 5.487	Foto provino P.I.9
Fig. 5.488	Diagramma riepilogativo forza-accorciamento in testa
Fig. 5.489	Diagramma riepilogativo σ - ϵ
Fig. 5.490	Diagramma riepilogativo forza-spostamento laterale
<hr/>	
Fig. 6.1	Geometria del solido “trave”
Fig. 6.2	Vettore tensione in un punto della sezione retta
Fig. 6.3	Risultante dei vettori tensione sulla sezione
Fig. 6.4	Vettore posizione rispetto al baricentro G della sezione retta
Fig. 6.5	Momento risultante dei vettori tensione sulla sezione retta rispetto al baricentro G
Fig. 6.6	Sforzo normale centrato
Fig. 6.7	Flessione retta
Fig. 6.8	Flusso uscente da A ^I
Fig. 6.9	Sezione rettangolare soggetta a taglio
Fig. 6.10	Diagramma delle tensioni tangenziali per una sezione rettangolare
Fig. 6.11	Schema dell’asta di Eulero
Fig. 6.12	Sbandamento dell’asta
Fig. 6.13	Diagramma σ - ϵ prova di trazione uniassiale
Fig. 6.14	Iperbole di Eulero
Fig. 6.15	Curva di stabilità per aste compresse
Fig. 6.16	Iperbole di Eulero in forma normalizzata
Fig. 6.17	Diagramma riepilogativo forza-abbassamento con divisione in sotto-gruppi
Fig. 6.18	Diagramma momento flettente e taglio (prove a flessione su tavole)
Fig. 6.19	Diagramma delle tensioni normali per i provini del Gruppo B
Fig. 6.20	Diagramma delle tensioni tangenziali per i provini del Gruppo B
Fig. 6.21	Diagramma delle tensioni (reale)
Fig. 6.22	Tavola con duttilità nulla
Fig. 6.23	Tavola con duttilità elevata
Fig. 6.24	Tavola con duttilità bassa
Fig. 6.25	Distribuzione gaussiana delle σ
Fig. 6.26	Diagramma riepilogativo F- δ (gruppo provini P.I.0.F)
Fig. 6.27	Diagramma riepilogativo σ - ϵ (gruppo provini P.I.0.F)

Fig. 6.28	Diagramma riepilogativo $F-\delta$ (gruppo provini P.I.1.F)
Fig. 6.29	Diagramma riepilogativo $\sigma-\varepsilon$ (gruppo provini P.I.1.F)
Fig. 6.30	Diagramma riepilogativo $F-\delta$ (gruppo provini P.I.2.F)
Fig. 6.31	Diagramma riepilogativo $\sigma-\varepsilon$ (gruppo provini P.I.2.F)
Fig. 6.32	Diagramma riepilogativo $F-\delta$ (gruppo provini P.I.3.F)
Fig. 6.33	Diagramma riepilogativo $\sigma-\varepsilon$ (gruppo provini P.I.3.F)
Fig. 6.34	Diagramma riepilogativo $F-\delta$ (gruppo provini P.I.4.F)
Fig. 6.35	Diagramma riepilogativo $\sigma-\varepsilon$ (gruppo provini P.I.4.F)
Fig. 6.36	Diagramma riepilogativo $F-\delta$ (gruppo provini P.I.5.F)
Fig. 6.37	Diagramma riepilogativo $\sigma-\varepsilon$ (gruppo provini P.I.5.F)
Fig. 6.38	Diagramma riepilogativo $F-\delta$ (gruppo provini P.I.6.F)
Fig. 6.39	Diagramma riepilogativo $\sigma-\varepsilon$ (gruppo provini P.I.6.F)
Fig. 6.40	Diagramma riepilogativo $F-\delta$ (gruppo provini P.I.7.F)
Fig. 6.41	Diagramma riepilogativo $\sigma-\varepsilon$ (gruppo provini P.I.7.F)
Fig. 6.42	Diagramma riepilogativo $F-\delta$ (gruppo provini P.I.8.F)
Fig. 6.43	Diagramma riepilogativo $\sigma-\varepsilon$ (gruppo provini P.I.8.F)
Fig. 6.44	Sforzo normale centrato
Fig. 6.45	Istogramma delle tensioni massime
Fig. 6.46	Distribuzione gaussiana delle tensioni massime
Fig. 6.47	Diagramma $\sigma-\varepsilon$ (provino di eps)
Fig. 6.48	Configurazione di prova (prove a taglio indiretto)
Fig. 6.49	Diagramma riepilogativo forza-spostamento del sotto-gruppo D1
Fig. 6.50	Diagramma riepilogativo forza-spostamento del sotto-gruppo D2
Fig. 6.51	Deformata del provino per effetto del carico
Fig. 6.52	Calcolo della tensione di trazione all'interfaccia legno-eps
Fig. 6.53	Morsetto per favorire lo scorrimento
Fig. 6.54	Comportamento a taglio del provino
Fig. 6.55	Ipotesi teoriche (tensioni tangenziali costanti)
Fig. 6.56	Condizione di taglio puro
Fig. 6.57	Spostamento δ e spessore dello strato di eps
Fig. 6.58	Diagramma $\tau - \gamma$
Fig. 6.59	Solaio con pannelli X-LAM
Fig. 6.60	Solaio con pannelli Porepan
Fig. 6.61	Solaio latero-cemento gettato in opera
Fig. 6.62	Sezione trasversale di un metro di solaio Porepan
Fig. 6.63	Sezione trasversale di un metro di solaio X-LAM
Fig. 6.64	Sezione trasversale di un metro di solaio latero-cemento
Fig. 6.65	Schema statico della prova
Fig. 6.66	Sezione a connessione infinitamente deformabile

Fig. 6.67	Sezione a connessione infinitamente rigida
Fig. 6.68	Istogramma dell'efficienza dei pannelli rispetto alla sezione composta infinitamente rigida
Fig. 6.69	Istogramma dell'efficienza dei pannelli rispetto alla sezione composta infinitamente rigida
Fig. 6.70	Diagramma riepilogativo forza-abbassamento in mezzeria sotto-gruppo H1
Fig. 6.71	Solai Porepan senza soletta ($L = 288$ cm)
Fig. 6.72	Rottura atipica del giunto a pettine
Fig. 6.73	Diagramma forza-abbassamento solai con e senza soletta ($L = 288$ cm)
Fig. 6.74	Diagramma riepilogativo forza-abbassamento in mezzeria sotto-gruppo H2
Fig. 6.75	In ordine: splitting, plug shear, group tear out, strappo sezione lignea netta
Fig. 6.76	Andamento resistenze caratteristiche del collegamento <i>P.C a 1</i>
Fig. 6.77	Diagramma del momento flettente nello schema statico (reale e fittizio)
Fig. 6.78	Andamento resistenze caratteristiche del collegamento del provino <i>P.C a 2</i>
Fig. 6.79	Diagramma del momento flettente nello schema statico (reale e fittizio)
Fig. 6.80	Andamento resistenze caratteristiche del collegamento del provino <i>P.C b 1</i>
Fig. 6.81	Diagramma del momento flettente nello schema statico (reale e fittizio)
Fig. 6.82	Andamento resistenze caratteristiche del collegamento del provino <i>P.C c 1</i>
Fig. 6.83	Diagramma del momento flettente nello schema statico (reale e fittizio)
Fig. 6.84	Andamento resistenze caratteristiche del collegamento del provino <i>P.C c 1</i>
Fig. 6.85	Diagramma del momento flettente nello schema statico (reale e fittizio)
Fig. 6.86	Confronto teoria di Johansen e prova sperimentale gruppo <i>P.C a</i>
Fig. 6.87	Confronto teoria di Johansen e prova sperimentale gruppo <i>P.C b</i>
Fig. 6.88	Confronto teoria di Johansen e prova sperimentale gruppo <i>P.C c</i>
Fig. 6.89	Diagramma forza abbassamento in mezzeria di tutti i provini
Fig. 6.90	Diagramma riepilogativo forza-accorciamento in testa
Fig. 6.91	Diagramma riepilogativo σ - ϵ
Fig. 6.92	Diagramma riepilogativo forza-spostamento laterale
Fig. 6.93	Foto rottura a taglio eps e rottura a trazione tozzetto
Fig. 6.94	Connessione inf. deformabile
Fig. 6.95	Connessione inf. rigida
Fig. 6.96	Diagramma riepilogativo σ - ϵ
Fig. 6.97	Schema dell'asta di Eulero
Fig. 6.98	Schema di colonna semplicemente appoggiata
Fig. 6.99	Schema di colonna incastrata-appoggiata
Fig. 6.100	Distribuzione gaussiana della tensione di instabilità per i provini dei sotto gruppi A1 e A2
Fig. 6.101	Foto inizio prova dei cinque gruppi di provini
Fig. 6.102	Foto fine prova dei cinque gruppi di provini

Fig. 7.1	Prospetto parete POREPAN
Fig. 7.2	Pannelli POREPAN centrali sulla sinistra e di estremità sulla destra
Fig. 7.3	Traversa di collegamento: base
Fig. 7.4	Traversa di collegamento: Lato 1
Fig. 7.5	Traversa di collegamento: Lato 2
Fig. 7.6	Scatolare cavo in acciaio e traversa fissata
Fig. 7.7	Schema semplificato di collegamento Parete – Fondazione
Fig. 7.8	Schema semplificato di collegamento Parete – Solaio - Parete
Fig. 7.9	Schema di montaggio pannello e fissaggio con barre filettate
Fig. 7.10	Montaggio pannelli
Fig. 7.11	Schema di montaggio parete <i>Fase 3</i>
Fig. 7.12	Schema di un possibile collegamento tra solaio di copertura e parete
Fig. 7.13	<i>Fase 4</i> : Parete completa con schema
Fig. 7.14	Assonometria porzione di parete perimetrale edificio POREPAN
Fig. 7.15	Sezione trasversale di un metro di solaio Porepan: pannelli con soletta collaborante in cls
Fig. 7.16	Diagramma F - δ
Fig. 7.17	Schema di semplice ribaltamento della parete
Fig. 7.18	Schema di semplice ribaltamento della parete con compressione ortogonale alle fibre
Fig. 7.19	Zona nodale tra le pareti verticali, le traverse e il solaio
Fig. 7.20	Porzione di parete POREPAN multipiano con plasticizzazione del solaio
Fig. 7.21	Porzione di parete POREPAN – alternativa al <i>caso 2</i>
Fig. 7.22	<i>Caso 2</i> : Possibile collegamento parete – solaio
Fig. 7.23	Barra M27 e funi utilizzate durante la prova
Fig. 7.24	Set-up di prova: LATO A
Fig. 7.25	Set-up di prova: LATO B
Fig. 7.26	Triangolo delle forze
Fig. 7.27	Diagramma forza - spostamento in testa
Fig. 7.28	Diagramma forza - scorrimento
Fig. 7.30	Diagramma forza - abbassamento
Fig. 7.31	Diagramma forza – allungamento diagonale
Fig. 7.32	Diagramma forza – accorciamento diagonale
Fig. 7.33	Diagramma forza – innalzamento (confronto strumentazione)
Fig. 7.34	Diagramma forza – deformazione – funi
Fig. 7.35	Barra M10 filettata a fine prova
Fig. 7.36	Parete lato A – inizio prova
Fig. 7.37	Parete lato A – durante

Fig. 7.38	Parete lato A – particolare nodo – inizio e fine prova
Fig. 7.39	Set-up di prova: Provino 2 LATO A
Fig. 7.40	Set-up di prova: Provino 2 LATO B
Fig. 7.41	Diagramma forza - spostamento in testa
Fig. 7.42	Diagramma forza - innalzamento
Fig. 7.43	Diagramma forza – scorrimento
Fig. 7.44	Diagramma forza – innalzamento
Fig. 7.45	Diagramma forza – accorciamento diagonale
Fig. 7.46	Diagramma forza – allungamento diagonale
Fig. 7.47	Parete Lato A – inizio e fine prova
Fig. 7.48	Bullone 8.8 ad inizio e fine prova
Fig. 7.49	Triangolo delle forze
Fig. 7.50	Diagramma forza - spostamento in testa
Fig. 7.51	Diagramma forza - innalzamento
Fig. 7.52	Diagramma forza – scorrimento
Fig. 7.53	Diagramma forza – accorciamento diagonale
Fig. 7.54	Diagramma forza – allungamento diagonale
Fig. 7.55	Parete lato A e lato B – inizio prova
Fig. 7.56	Parete lato A – durante
Fig. 7.57	Parete lato A – particolare nodo – inizio e fine prova
Fig. 7.58	Bullone 8.8 ad inizio e fine prova
Fig. 7.59	Triangolo delle forze
Fig. 7.60	Diagramma forza – spostamento
Fig. 7.61	Diagramma forza – scorrimento
Fig. 7.62	Diagramma forza – abbassamento
Fig. 7.63	Diagramma forza – accorciamento diagonale
Fig. 7.64	Diagramma forza – allungamento diagonale
Fig. 7.65	Diagramma forza – innalzamento – confronto strumentazione
Fig. 7.66	Diagramma $\sigma - \varepsilon$ per le barre M27
Fig. 7.67	Parete lato A – inizio prova
Fig. 7.68	Parete lato A – durante
Fig. 7.69	Parete lato A – particolare nodo – inizio e fine prova
Fig. 7.70	Confronto diagrammi forza – spostamento
Fig. 7.71	Confronto diagrammi forza – innalzamento
Fig. 7.72	Diagrammi forza – spostamento e curve bilinearizzate
Fig. 7.73	Diagrammi forza – innalzamento e curve bilinearizzate

Fig. 8.1	Comportamento cerniera plastica <i>Legno_90</i>
Fig. 8.2	Comportamento cerniera plastica <i>Bullone</i>
Fig. 8.3	Modello numerico realizzato con SAP2000
Fig. 8.4	Curve forza – spostamento modello numerico e prova sperimentale
Fig. 8.5	Modello numerico della parete POREPAN con doppia diagonale
Fig. 8.6	Modello numerico semplificato della parete POREPAN con singola diagonale
Fig. 8.7	Parete analizzata
Fig. 8.8	Modello numerico semplificato – mensole equivalenti
Fig. 8.9	Comportamento cerniere plastiche
Fig. 8.10	Schema di ribaltamento semplificato della parete POREPAN
Fig. 8.11	Spazi ADRS per varie PGA
Fig. 8.12	Esempio di bilinearizzazione
Fig. 8.13	Vulnerabilità per il caso $l_b = 4$ cm
Fig. 8.14	Vulnerabilità per il caso $l_b = 16$ cm

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 1.1	Coefficiente di variazione dimensionale
Tab. 2.1	Moduli di Poisson
Tab. 2.2	Moduli di elasticità normale e tangenziale
Tab. 4.1	Pannello abete-abete n. 1
Tab. 4.2	Pannello abete-abete n. 2
Tab. 4.3	Pannello abete-abete n. 3
Tab. 4.4	Pannello abete-larice n. 1
Tab. 4.5	Pannello abete-larice n. 2
Tab. 4.6	Pannello abete-larice n. 3
Tab. 4.7	Pannello larice-larice n. 1
Tab. 4.8	Pannello larice-larice n. 2
Tab. 4.9	Pannello larice-larice n. 3
Tab. 4.10	Tabella riepilogativa dei risultati
Tab. 5.1	Elenco delle prove sperimentali effettuate
Tab. 5.2	Caratteristiche geometriche delle tavole in legno strutturale
Tab. 5.3	Tabella dei risultati provino P.I.0.F
Tab. 5.4	Scheda riepilogativa provino P.I.0.F
Tab. 5.5	Tabella dei risultati provino P.I.1.F
Tab. 5.6	Scheda riepilogativa provino P.I.1.F
Tab. 5.7	Tabella dei risultati provino P.I.2.F
Tab. 5.8	Scheda riepilogativa provino P.I.2.F
Tab. 5.9	Tabella dei risultati provino P.I.3.F
Tab. 5.10	Scheda riepilogativa provino P.I.3.F
Tab. 5.11	Tabella riepilogativa dei risultati del primo gruppo
Tab. 5.12	Tabella dei risultati provino P.I.4.
Tab. 5.13	Scheda riepilogativa provino P.I.4.F
Tab. 5.14	Tabella dei risultati provino P.I.5.F
Tab. 5.15	Scheda riepilogativa provino P.I.5.F
Tab. 5.16	Tabella dei risultati provino P.I.6.F
Tab. 5.17	Scheda riepilogativa provino P.I.6.F
Tab. 5.18	Tabella riepilogativa dei risultati del secondo gruppo
Tab. 5.19	Tabella dei risultati provino P.I.7.F
Tab. 5.20	Scheda riepilogativa provino P.I.7.F
Tab. 5.21	Tabella dei risultati provino P.I.8.F

Tab. 5.22	Scheda riepilogativa provino P.I.8.F
Tab. 5.23	Scheda riepilogativa dei risultati
Tab. 5.24	Dimensioni effettive dei provini di legno netto
Tab. 5.25	Scheda riepilogativa provino C1
Tab. 5.26	Scheda riepilogativa provino C2
Tab. 5.27	Scheda riepilogativa provino C3
Tab. 5.28	Scheda riepilogativa provino C4
Tab. 5.29	Scheda riepilogativa provino C5
Tab. 5.30	Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.0.F
Tab. 5.31	Scheda riepilogativa provino C6
Tab. 5.32	Scheda riepilogativa provino C7
Tab. 5.33	Scheda riepilogativa provino C8
Tab. 5.34	Scheda riepilogativa provino C9
Tab. 5.35	Scheda riepilogativa provino C10
Tab. 5.36	Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.1.F
Tab. 5.37	Scheda riepilogativa provino C11
Tab. 5.38	Scheda riepilogativa provino C12
Tab. 5.39	Scheda riepilogativa provino C13
Tab. 5.40	Scheda riepilogativa provino C14
Tab. 5.41	Scheda riepilogativa provino C15
Tab. 5.42	Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.2.F
Tab. 5.43	Scheda riepilogativa provino C16
Tab. 5.44	Scheda riepilogativa provino C17
Tab. 5.45	Scheda riepilogativa provino C18
Tab. 5.46	Scheda riepilogativa provino C19
Tab. 5.47	Scheda riepilogativa provino C20
Tab. 5.48	Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.3.F
Tab. 5.49	Scheda riepilogativa provino C21
Tab. 5.50	Scheda riepilogativa provino C22
Tab. 5.51	Scheda riepilogativa provino C23
Tab. 5.52	Scheda riepilogativa provino C24
Tab. 5.53	Scheda riepilogativa provino C25
Tab. 5.54	Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.4.F
Tab. 5.55	Scheda riepilogativa provino C26
Tab. 5.56	Scheda riepilogativa provino C27
Tab. 5.57	Scheda riepilogativa provino C28
Tab. 5.58	Scheda riepilogativa provino C29
Tab. 5.59	Scheda riepilogativa provino C30
Tab. 5.60	Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.5.F

Tab. 5.61	Scheda riepilogativa provino C31
Tab. 5.62	Scheda riepilogativa provino C32
Tab. 5.63	Scheda riepilogativa provino C33
Tab. 5.64	Scheda riepilogativa provino C34
Tab. 5.65	Scheda riepilogativa provino C35
Tab. 5.66	Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.6.F
Tab. 5.67	Scheda riepilogativa provino C36
Tab. 5.68	Scheda riepilogativa provino C37
Tab. 5.69	Scheda riepilogativa provino C38
Tab. 5.70	Scheda riepilogativa provino C39
Tab. 5.71	Scheda riepilogativa provino C40
Tab. 5.72	Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.7.F
Tab. 5.73	Scheda riepilogativa provino C41
Tab. 5.74	Scheda riepilogativa provino C42
Tab. 5.75	Scheda riepilogativa provino C43
Tab. 5.76	Scheda riepilogativa provino C44
Tab. 5.77	Scheda riepilogativa provino C45
Tab. 5.78	Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.7.F
Tab. 5.79	Scheda riepilogativa dei risultati medi
Tab. 5.80	Caratteristiche geometriche dei provini testati a taglio
Tab. 5.81	Scheda riepilogativa provino T1
Tab. 5.82	Scheda riepilogativa provino T2
Tab. 5.83	Scheda riepilogativa provino T3
Tab. 5.84	Tabella riepilogativa dei risultati del primo gruppo
Tab. 5.85	Scheda riepilogativa provino T4
Tab. 5.86	Scheda riepilogativa provino T5
Tab. 5.87	Scheda riepilogativa provino T6
Tab. 5.88	Tabella riepilogativa dei risultati del secondo gruppo
Tab. 5.89	Tabella complessiva dei risultati
Tab. 5.90	Caratteristiche geometriche dei provini testati
Tab. 5.91	Scheda riepilogativa Piastra 1
Tab. 5.92	Scheda riepilogativa Piastra 2
Tab. 5.93	Scheda riepilogativa Piastra 3
Tab. 5.94	Riepilogo risultati delle prove
Tab. 5.95	Scheda riepilogativa Piastra 4
Tab. 5.96	Scheda riepilogativa Piastra 5
Tab. 5.97	Riepilogo risultati delle prove
Tab. 5.98	Riepilogo complessivo dei risultati delle prove
Tab. 5.99	Riepilogo prove a compressione su cubetti di calcestruzzo

Tab. 5.100	Caratteristiche geometriche dei provini testati
Tab. 5.101	Scheda riepilogativa provino 1
Tab. 5.102	Scheda riepilogativa provino 2
Tab. 5.103	Scheda riepilogativa provino 3
Tab. 5.104	Riepilogo risultati delle prove
Tab. 5.105	Scheda riepilogativa provino 4
Tab. 5.106	Scheda riepilogativa provino 5
Tab. 5.107	Classificazione acciai da carpenteria secondo N.T.C./08
Tab. 5.108	Riepilogo risultati delle prove
Tab. 5.109	Scheda riepilogativa provino 6
Tab. 5.110	Scheda riepilogativa provino 7
Tab. 5.111	Riepilogo risultati delle prove
Tab. 5.112	Caratteristiche geometriche dei provini testati
Tab. 5.113	Scheda riepilogativa provino F1
Tab. 5.114	Scheda riepilogativa provino F2
Tab. 5.115	Scheda riepilogativa provino F3
Tab. 5.116	Tabella riepilogativa dei risultati
Tab. 5.117	Caratteristiche geometriche dei provini testati
Tab. 5.118	Scheda riepilogativa provino P.C.S_1
Tab. 5.119	Scheda riepilogativa provino P.C.S_2
Tab. 5.120	Scheda riepilogativa provino P.C.S_3
Tab. 5.121	Tabella riepilogativa dei risultati
Tab. 5.122	Scheda riepilogativa provino P.C.S_4
Tab. 5.123	Scheda riepilogativa provino P.C.S_5
Tab. 5.124	Scheda riepilogativa provino P.C.S_6
Tab. 5.125	Tabella riepilogativa dei risultati
Tab. 5.126	Riepilogo dei provini
Tab. 5.127	Scheda riepilogativa provino p1f
Tab. 5.128	Scheda riepilogativa provino p2f
Tab. 5.129	Scheda riepilogativa provino p3f
Tab. 5.130	Tabella riepilogativa gruppo primo
Tab. 5.131	Scheda riepilogativa provino p4f
Tab. 5.132	Scheda riepilogativa provino p5f
Tab. 5.133	Scheda riepilogativa provino p6f
Tab. 5.134	Tabella riepilogativa gruppo secondo
Tab. 5.135	Scheda riepilogativa provino p7f
Tab. 5.136	Scheda riepilogativa provino p8f
Tab. 5.137	Scheda riepilogativa provino p9f
Tab. 5.138	Tabella riepilogativa gruppo terzo

Tab. 5.139	Scheda riepilogativa provino p10f
Tab. 5.140	Scheda riepilogativa provino p11f
Tab. 5.141	Scheda riepilogativa provino p12f
Tab. 5.142	Tabella riepilogativa gruppo quarto
Tab. 5.143	Scheda riepilogativa provino p13f
Tab. 5.144	Scheda riepilogativa provino p14f
Tab. 5.145	Scheda riepilogativa provino p15f
Tab. 5.146	Tabella riepilogativa gruppo quinto
Tab. 5.147	Scheda riepilogativa provino p16f
Tab. 5.148	Scheda riepilogativa provino p17f
Tab. 5.149	Scheda riepilogativa provino p18f
Tab. 5.150	Tabella riepilogativa gruppo sesto
Tab. 5.151	Scheda riepilogativa provino F1
Tab. 5.152	Scheda riepilogativa provino F2
Tab. 5.153	Scheda riepilogativa provino F3
Tab. 5.154	Riepilogo primo gruppo
Tab. 5.155	Scheda riepilogativa provino F4
Tab. 5.156	Scheda riepilogativa provino F5
Tab. 5.157	Scheda riepilogativa provino F6
Tab. 5.158	Riepilogo secondo gruppo
Tab. 5.159	Scheda riepilogativa provino F7
Tab. 5.160	Scheda riepilogativa provino F8
Tab. 5.161	Scheda riepilogativa provino F9
Tab. 5.162	Riepilogo terzo gruppo
Tab. 5.163	Scheda riepilogativa provino F10
Tab. 5.164	Scheda riepilogativa provino F11
Tab. 5.165	Scheda riepilogativa provino F12
Tab. 5.166	Riepilogo quarto gruppo
Tab. 5.167	Caratteristiche geometriche dei provini testati a flessione
Tab. 5.168	Scheda riepilogativa provino P.C_a_1
Tab. 5.169	Scheda riepilogativa provino P.C_a_2
Tab. 5.170	Scheda riepilogativa provino P.C_b_1
Tab. 5.171	Scheda riepilogativa provino P.C_c_1
Tab. 5.172	Scheda riepilogativa provino P.C_c_2
Tab. 5.173	Scheda riepilogativa provino P.C_d_1
Tab. 5.174	Scheda riepilogativa provino P.C_d_2
Tab. 5.177	Attrezzatura di prova
Tab. 5.178	Caratteristiche geometriche dei pannelli
Tab. 5.179	Scheda riepilogativa provino P.I.0

Tab. 5.180	Scheda riepilogativa provino P.I.1
Tab. 5.181	Scheda riepilogativa provino P.I.2
Tab. 5.182	Scheda riepilogativa provino P.I.3
Tab. 5.183	Scheda riepilogativa dei risultati del primo gruppo
Tab. 5.184	Scheda riepilogativa provino P.I.4
Tab. 5.185	Scheda riepilogativa provino P.I.5
Tab. 5.186	Scheda riepilogativa provino P.I.6
Tab. 5.187	Scheda riepilogativa dei risultati del secondo gruppo
Tab. 5.188	Scheda riepilogativa provino P.I.7
Tab. 5.189	Scheda riepilogativa provino P.I.8
Tab. 5.190	Scheda riepilogativa provino P.I.9
Tab. 5.191	Tabella riepilogativa dei risultati (prove di instabilità)
Tab. 6.1	Scheda riepilogativa dei risultati
Tab. 6.2	Scheda riepilogativa dei risultati
Tab. 6.3	Scheda riepilogativa dei risultati
Tab. 6.4	Scheda riepilogativa dei provini del sotto-gruppo C1
Tab. 6.5	Scheda riepilogativa dei provini del sotto-gruppo C2
Tab. 6.6	Scheda riepilogativa dei provini del sotto-gruppo C3
Tab. 6.7	Scheda riepilogativa dei provini del sotto-gruppo C4
Tab. 6.8	Scheda riepilogativa dei risultati
Tab. 6.9	Valori di tensione e modulo elastico eps
Tab. 6.10	Caratteristiche geometriche dei provini testati a taglio
Tab. 6.11	Scheda riepilogativa dei risultati del sottogruppo D1
Tab. 6.12	Scheda riepilogativa dei risultati del sottogruppo D2
Tab. 6.13	Riepilogo dei valori di resistenza a compressione e a taglio dell'eps
Tab. 6.14	Tabella riepilogativa pesi solaio
Tab. 6.15	Sezione a connessione infinitamente deformabile
Tab. 6.16	Sezione a connessione infinitamente rigida
Tab. 6.17	Sezione a connessione semi-rigida
Tab. 6.18	Sezione a connessione infinitamente deformabile
Tab. 6.19	Sezione a connessione infinitamente rigida
Tab. 6.20	Sezione a connessione semi-rigida
Tab. 6.21	Caratteristiche geometriche dei provini testati
Tab. 6.22	Tabella riepilogativa dei valori del carico
Tab. 6.23	Valori del carico per L/300 ed L/150
Tab. 6.24	Scheda riepilogativa di confronto
Tab. 6.25	Tabella riepilogativa dei valori del carico

Tab. 6.26	Riepilogo dati sperimentali e teorici
Tab. 6.27	Tabella riepilogativa dei risultati (prove di instabilità)
Tab. 6.28	Tabella riepilogativa valutazione modulo elastico
Tab. 6.29	Carico critico e tensione critica di instabilità (Gruppo A)
Tab. 6.30	Carico critico e tensione critica di instabilità (Gruppo A)
Tab. 6.31	Quadro riepilogativo dei risultati dei provini del gruppo A
Tab. 7.1	Analisi dei carichi permanenti strutturali – solaio tradizionale
Tab. 7.2	Analisi dei carichi permanenti non strutturali – solaio tradizionale
Tab. 7.3	Analisi dei carichi permanenti strutturali – solaio alleggerito
Tab. 7.4	Analisi dei carichi permanenti non strutturali – solaio alleggerito
Tab. 7.5	Tassi di lavoro solaio tradizionale
Tab. 7.6	Tassi di lavoro solaio alleggerito
Tab. 7.7	Suddivisione provini testati
Tab. 7.8	Attrezzatura di prova
Tab. 7.9	Riepilogo provino 1
Tab. 7.10	Riepilogo provino 2
Tab. 7.11	Riepilogo provino 3
Tab. 7.12	Riepilogo provino 4
Tab. 7.13	Duttilità dei provini testati
Tab. 7.14	Sovreresistenza dei provini testati
Tab. 8.1	Modelli numerici creati
Tab. 8.2	Materiali creati all'interno dell'ambiente di lavoro del programma SAP2000
Tab. 8.3	Caratteristiche elementi frame
Tab. 8.4	Riepilogo duttilità richiesta e disponibile

INDICE GENERALE

OBIETTIVI E FINALITÀ DELLA RICERCA

CAPITOLO 1

CARATTERISTICHE FISICHE E PRODOTTI DEL LEGNO

1.1.	Introduzione	1
1.2.	Anatomia e costituzione del legno	1
1.3.	Comportamento igroscopico	5
1.4.	Influenza dell'umidità sulla stabilità dimensionale	7
1.5.	Difetti del legno	8
1.6.	I prodotti del legno	10

CAPITOLO 2

COMPORTAMENTO MECCANICO DEL LEGNO

2.1.	Introduzione	17
2.2.	Isotropia, anisotropia e ortotropia	17
2.3.	Modellazione meccanica del materiale	18
2.4.	Resistenza a trazione e compressione del legno netto	21
2.4.1.	Resistenza a trazione	22
2.4.2.	Resistenza a compressione	22
2.5.	Resistenza per sollecitazioni inclinate rispetto alle fibre	23
2.6.	Resistenza a taglio del legno netto	23
2.7.	Resistenza a trazione e compressione del legno strutturale	24
2.7.1.	Resistenza a trazione	25
2.7.2.	Resistenza a compressione	25
2.8.	Effetto della durata del carico sulla resistenza	25

CAPITOLO 3

DESCRIZIONE DELLE MACCHINE DI PROVA

3.1.	Introduzione	27
3.2.	Macchina per prove a flessione "METROCOM"	28
3.3.	Macchina per prove a compressione su legno "METROCOM"	29
3.4.	Macchina universale "ITALSIGMA"	30
3.5.	Macchina per prove a compressione su calcestruzzo "MATEST"	31
3.6.	Vitone di pressione	32
3.7.	Macchina per prove a trazione "MTS810"	37
3.8.	Macchina per prove su pareti con forze orizzontali di tipo monotone	38

CAPITOLO 4

BREVE ANALISI DELLO STATO DELL'ARTE DEI PANNELLI IN LEGNO MASSICCIO

4.1.	Introduzione	41
4.2.	Risultati delle prove sperimentali	41
4.2.1.	Introduzione	41
4.2.2.	Descrizione dei provini	41
4.2.3.	Strumentazione di prova	42
4.2.4.	Risultati sperimentali	43
4.2.4.1.	Pannello abete-abete n. 1	43
4.2.4.2.	Pannello abete-abete n. 2	45
4.2.4.3.	Pannello abete-abete n. 3	46
4.2.4.4.	Pannello abete-larice n. 1	47
4.2.4.5.	Pannello abete-larice n. 2	48
4.2.4.6.	Pannello abete-larice n. 3	50
4.2.4.7.	Pannello larice-larice n. 1	51
4.2.4.8.	Pannello larice-larice n. 2	52
4.2.4.9.	Pannello larice-larice n. 3	53

CAPITOLO 5

LA CAMPAGNA DI PROVE SPERIMENTALI

5.1.	Introduzione	57
5.2.	Prove a flessione su tavole in legno strutturale (GRUPPO B)	63
5.3.	Prove di compressione su legno netto (GRUPPO C)	89
5.4.	Prove a taglio indiretto su EPS (GRUPPO D)	203
5.5	Prova a compressione su EPS (GRUPPO G)	217
5.6	Prove sull' incollaggio tra legno e acciaio (GRUPPO M ed N)	219
5.7	Prove a compressione su cubetti di calcestruzzo (GRUPPO F)	237
5.8	Prove a trazione su barre di acciaio (GRUPPO T)	239
5.9	Prove a flessione su solai Porepan senza soletta (GRUPPO E)	261
5.10	Prove a flessione su solai Porepan con soletta collaborante (GRUPPO H)	273
5.11	Prove a flessione su pannelli lignei (GRUPPI Q e R)	297
5.12	Prove su pannelli collegati (GRUPPO Z)	379
5.13	Prove di instabilità su pannelli lignei (GRUPPO A)	397

CAPITOLO 6

ELABORAZIONI NUMERICHE

6.1	Introduzione	449
6.2	Applicazione della teoria alle prove sperimentali	463
6.2.1	Prove a flessione su tavole in legno strutturale	463
6.2.2	Prove di compressione su legno netto	474
6.2.3	Il comportamento meccanico dell'eps	489

6.3	Il solaio come elemento di partizione orizzontale	497
6.3.1	Solai porepan senza soletta collaborante (Gruppo Q ed R)	503
6.3.2	Solai porepan con soletta (gruppo H)	511
6.4	Prove a flessione sui collegamenti tra diversi pannelli porepan	519
6.5	Considerazioni sul pannello Porepan soggetto ad instabilità	529

CAPITOLO 7

PROVE SPERIMENTALI SU PARETI SOGGETTE A FORZE ORIZZONTALI

7.1.	Introduzione al sistema parete	543
7.2.	Sistema parete POREPAN: aspetto tecnologico	546
7.3.	Sistema parete POREPAN: aspetto strutturale	552
7.3.1.	Funzionamento parete POREPAN sotto carichi gravitazionali	552
7.3.2.	Funzionamento parete POREPAN sotto azioni orizzontali	557
7.4.	Sistema “Parete POREPAN” e <i>capacity design</i>	558
7.4.1.	<i>Capacity design</i>	558
7.5.	Campagna di prove sperimentali sulla parete POREPAN	566
7.5.1	Set-up di prova e strumentazione adottata	566
7.5.2.	Risultati delle prove: Provino n.1	568
7.5.2.	Risultati delle prove: Provino n.2	574
7.5.3.	Risultati delle prove: Provino n.3	579
7.5.4.	Risultati delle prove: Provino n.4	584
7.6	Confronto tra le prove	589

CAPITOLO 8

MODELLAZIONE E ANALISI NUMERICA

8.1	Introduzione	595
8.2	Modelli numerici al programma agli elementi finiti SAP2000	595
8.3	Modellazione meccanica e geometrica	596
8.4	Risultati delle analisi	600
8.5	Analisi di vulnerabilità sismica	608

CAPITOLO 9

CONCLUSIONI

9.1	Tematiche trattate e risultati conseguiti	615
------------	--	-----

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

OBIETTIVI E FINALITÀ DELLA RICERCA

In questi ultimi anni il legno è sempre più utilizzato come materiale da costruzione, e questo in considerazione di particolari proprietà del materiale quali l'elevato rendimento strutturale, la leggerezza, la resistenza e deformabilità, la sostenibilità ambientale.

Un forte sviluppo nel settore delle costruzioni in legno è dovuto all'introduzione di nuovi sistemi costruttivi, spesso prodotti in ambito industriale, che permettono di velocizzare i tempi di costruzione dell'opera rispetto ai sistemi più tradizionali. Appartengono a questa categoria i pannelli lignei portanti, utilizzati come elementi costruttivi di edifici sia come pareti, nelle quali agiscono principalmente carichi nel piano, sia come solai, nei quali agiscono soprattutto carichi fuori dal piano. Gli edifici con struttura a pannelli lignei portanti, pertanto, si configurano come una struttura scatolare costituita da pannelli verticali ed orizzontali.

I pannelli di legno attualmente presenti in commercio sono in genere del tipo X-Lam, ottenuti dalla sovrapposizione di strati incrociati di tavole di legno, connessi tramite incollaggio o chiodatura, in modo da formare un elemento bidimensionale.

I pannelli X-Lam hanno una struttura interamente in legno e vengono di solito realizzati in dimensioni e pesi per i quali la movimentazione in cantiere deve avvenire tramite macchine e gru. Inoltre, questi pannelli hanno valori di trasmittanza termica tali da rendere comunque necessario l'utilizzo di ulteriori specifici elementi di coibentazione per rispettare i requisiti di dispersione termica previsti per le pareti esterne.

Inoltre, studi condotti sul comportamento strutturale di tali pannelli, anche dallo stesso gruppo di ricerca del Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura (Di.St) dell'Università di Napoli "Federico II", hanno portato ad una serie di risultati che evidenziano tassi di lavoro bassi nel materiale ligneo, anche in presenza di azioni sismiche e, pertanto, dimostrano, per questa tipologia costruttiva, un utilizzo di materia prima superiore alle reali necessità strutturali.

Questa tipologia di pannelli presenta, quindi, una serie di limiti intrinseci (sovrabbondanza di materiale, difficile movimentazione, alta trasmittanza termica) che spingono allo sviluppo di nuove tipologie di pannelli capaci di superare tali limiti, garantendo al contempo prestazioni strutturali adeguate.

Partendo da ciò, l'idea progettuale è stata quella di realizzare pannelli di legno alleggeriti realizzati tramite la sovrapposizione di 3 strati incollati tra di loro: due strati esterni (strutturalmente portanti) di tavole di legno ed uno strato intermedio di collegamento (non portante), costituito da un materiale che garantisca nello stesso tempo una maggiore leggerezza ed una rilevante capacità di isolamento termico.

Al fine di garantire una più comoda movimentazione in cantiere essi hanno larghezza ridotta, mentre la lunghezza è variabile, potendo raggiungere quella massima delle tavole di legno presenti in commercio, non volendo considerare la possibilità di giuntare le tavole di testa con giunti a mini-dita. I singoli pannelli così fatti devono, ovviamente, essere giuntati gli uni agli altri in modo da ottenere le

dimensioni richieste per le pareti o per i solai. La giunzione è prevista con connessioni meccaniche in corrispondenza di elementi di legno intermedi di collegamento delle due tavole esterne del pannello.

Come descritto in precedenza, una delle tipologie strutturali per edifici lignei attualmente più diffusa è quella a pareti portanti con pannelli di tavole a strati incrociati (X-lam). Si tratta di edifici costituiti da un assemblaggio di pannelli lignei collegati, sia a livello di interpiano che di fondazione, mediante connessioni meccaniche chiodate o bullonate (Fig. 0.1).

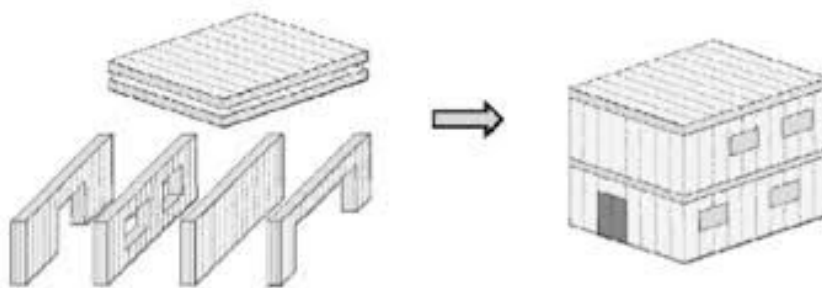


Fig. 0.1 Edificio X-lam

Non mancano, però, delle criticità che rendono tale sistema non sempre performante dal punto di vista sia tecnologico che strutturale. Ad esempio i pannelli, prodotti di qualsivoglia dimensione (sempre entro i limiti di trasporto su strada), rendono difficili le operazioni di movimentazione e montaggio in cantiere. Inoltre, la tecnologia del pannello porta ad un eccessivo spreco di materiale e di conseguenza ad un aumento del peso strutturale e dei costi di costruzione.

Nella presente ricerca viene analizzata una nuova tipologia di pannello portante in legno massiccio, in grado di superare le criticità connesse all'utilizzo di pannelli tipo X-lam e che possa essere impiegato per la realizzazione di edifici lignei a pareti portanti. Tale pannello viene prodotto dall'azienda G.R. Sistemi di Tito Scalo (PZ) con il nome di *POREPAN*.

A differenza del pannello X-lam, il *POREPAN* è ottenuto dall'assemblaggio di due tavole di legno con materiale isolante (polistirene espanso estruso, EPS) interposto tra le stesse. La larghezza del pannello *POREPAN* è pari a quella delle tavole lignee di cui è composto (circa 20 cm) e lo spessore complessivo è pari a quello degli elementi costitutivi (tav. esterna, 4cm + EPS 8cm + tav. interna 4cm = spess. tot. 16cm), per cui esso risulta di peso molto contenuto. I pannelli vengono poi assemblati direttamente in cantiere, permettendo di realizzare, quindi, pareti della lunghezza desiderata con una evidente maggiore facilità di montaggio. Essi, inoltre, non necessitano di ulteriore aggiunta di materiale isolante, essendo esso già compreso nel pacchetto.

Tale pannello permette di realizzare l'intero edificio, in quanto può svolgere la doppia funzione strutturale di elemento portante sia verticale (pareti) che orizzontale (solaio), in analogia a quanto possibile con i pannelli X-lam.

Il presente lavoro consiste essenzialmente in una ampia campagna di indagine sperimentale finalizzata alla caratterizzazione meccanica del pannello come elemento portante orizzontale e verticale, in vista di possibili impieghi nell'ambito delle costruzioni in legno e in particolare degli edifici.

Descrizione del pannello Porepan

Il pannello *POREPAN* è un elemento composto da tavole di legno massiccio, che può svolgere la duplice funzione di lastra e di piastra. Si presta, quindi, ad essere impiegato sia come parete verticale (caricata prevalentemente nel proprio piano) che come struttura orizzontale (con carichi agenti prevalentemente ortogonalmente al proprio piano). Pertanto può essere una valida alternativa ad altri elementi bidimensionali impiegati per la realizzazione degli edifici in legno (tipo X-lam).

Il pannello *POREPAN* sembra fornire il giusto connubio tra requisiti prettamente strutturali e di risparmio energetico. Si tratta, infatti, di un elemento ad elevato potere di isolamento, viste le notevoli proprietà di resistenza termica degli elementi costituenti (tavole di legno esterne e strato centrale in EPS).

In dettaglio, il pannello è composto dai seguenti strati (Figg. 2, 3):

- uno strato esterno, costituito da una tavola in legno massiccio di spessore variabile tra 20 e 40 mm;
- uno strato coibente intermedio, costituito da polistirene espanso sinterizzato (EPS) dello spessore di 80 mm, conforme alla Norma UNI 7819;
- uno strato interno, costituito da una tavola in legno massiccio di spessore variabile tra 20 e 40 mm;
- collegamenti lignei mediante “tozzetti” disposti in diversi punti lungo la lunghezza del pannello.

Generalmente i pannelli si realizzano con tavole in legno di abete rosso poiché questa è la specie legnosa più comunemente impiegata in ambito strutturale, ma possono essere realizzati anche con altri tipi di legno (tipo larice o pino), se le condizioni di impiego lo richiedano.

La produzione del pannello avviene in maniera industrializzata in stabilimento, le tavole vengono prima lavorate con macchine a controllo numerico e poi classificate secondo la Normativa specifica. L'incollaggio degli strati avviene con procedimenti analoghi a quelli utilizzati per le travi in legno lamellare. Nello specifico sono utilizzate colle poliuretaniche rispondenti alla norma ISO 14001 prive di formaldeide.



Fig. 0.2 Sezione di un pannello *POREPAN*

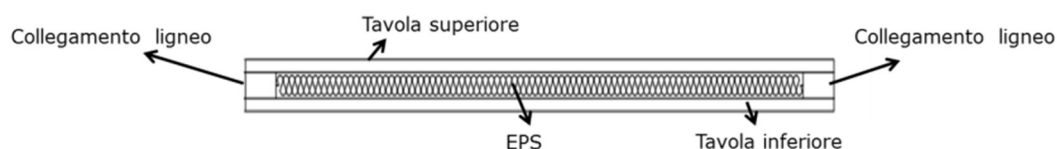


Fig. 0.3 Pannello *POREPAN*

PREFAZIONE

Il presente lavoro di tesi di dottorato rientra nel più ampio progetto di ricerca di livello Nazionale, progetto RELUIS, finalizzato, sulla base di simulazioni numeriche e sperimentali, alla definizione dei criteri di progettazione antisismica di edifici in legno a pannelli *X-LAM*.

Allo stato attuale la tipologia più diffusa di costruzione degli edifici in legno è quella a pannelli portanti *X-LAM*, anche se non è presente una normativa tecnica specifica per la loro progettazione. Studi precedenti hanno dimostrato, per questa tipologia di pannelli, la sovrabbondanza di materiale strutturale impiegato rispetto a quello necessario per il soddisfacimento delle verifiche di resistenza dell'edificio e la mancanza di un sistema specifico di isolamento termico. Da qui nasce l'idea di questo lavoro di tesi. Dimostrare l'efficienza di un nuovo sistema tecnologico di pannelli lignei alleggeriti, costituiti da un minore quantitativo di materiale e da un sistema di isolamento termico integrato, in evoluzione al sistema classico *X-LAM*.

Si è studiato, quindi, il comportamento meccanico del pannello *Porepan*, proposto dalla "G.R. Sistemi Holzindustrie s.r.l.", azienda sito in Tito Scalo (PZ). Si tratta di pannelli portanti ad elevato isolamento termico che possono essere impiegati come:

- pareti verticali;
- solai.

Analizzando la composizione, ogni pannello è costituito da due strati di legno con interposto strato coibente. La produzione di questi pannelli avviene in maniera prefabbricata e con macchine a controllo numerico.

Questo nuovo sistema tecnologico, impiegabile per realizzare solai e pareti portanti, a differenza del pannello *X-LAM*, nasce dall'unione di tanti elementi mono-dimensionali semplicemente accostati tra loro tenuti insieme mediante bulloni; quindi ognuno di esso si comporta come elemento trave o colonna a portanza uni-direzionale.

In generale, i pannelli in legno a strati incrociati *X-LAM*, possono raggiungere delle dimensioni abbastanza notevoli, facendo risultare molto difficile il trasporto e la movimentazione in cantiere. Tutt'altro accade per i pannelli *Porepan*, in quanto, essendo di dimensioni ridotte rispetto ai pannelli in *X-LAM*, possono essere facilmente trasportati e messi in opera.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- 1) Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008: “Nuove norme tecniche per le costruzioni”.
- 2) Circolare Ministeriale n° 617 del 2 febbraio 2009: “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008
- 3) CNR-DT 206 del 28 novembre 2007 – rev. 7 ottobre 2008: “Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il controllo delle Strutture in Legno”.
- 4) UNI EN 408, *Legno massiccio e legno lamellare incollato, determinazione di alcune proprietà fisiche e meccaniche*, Dicembre 2004.
- 5) UNI EN 338, *Classi di resistenza*, Dicembre 2004.
- 6) UNI EN 384, *Determinazione dei valori caratteristici delle proprietà meccaniche e della massa volumica*, Marzo 1997.
- 7) pr EN 14080, *Timber structures, glued laminated timber, requirements*, December 2000.
- 8) UNI ISO 3787, *Determinazione della resistenza a compressione parallela alla fibratura* Aprile 2005.
- 9) UNI EN 380, *Principi generali per le prove con carico statico*, Luglio 1994.
- 10) UNI EN 789, *Metodi di prova, determinazione di proprietà meccaniche di pannelli a base di legno*, Maggio 2005.
- 11) Piazza Maurizio, Tomasi Roberto, Modena Roberto, *Strutture in legno: materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee*, Hoepli, Milano, 2005.
- 12) Aurelio Ghersi, *Il cemento armato*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2010
- 13) Luciano Nunziante, Luigi Gambarotta, Antonio Tralli, *Scienza delle Costruzioni: terza edizione*, McGraw-Hill Education.
- 14) Guglielmo Giordano, *Tecnica delle costruzioni in legno*, Hoepli, Milano, 2010.
- 15) D.C. Montgomery, G.C. Runger, N.F. Hubele, *Statistica per ingegneria*, Egea, 2004.
- 16) Promo_legno, A. Bernasconi, *Materiale: caratteristiche, proprietà e prestazioni*, www.promolegno.com.
- 17) Bruno Calderoni, *Appunti del corso di Tecnica delle Costruzioni* (a.a. 2015/2016), Università degli Studi di Napoli Federico II.
- 18) Tesi di Laurea, *Analisi sperimentale e teorica del comportamento meccanico di pannelli lignei strutturali*, Vincenzo Andolfo, Prof. Ing. Bruno Calderoni, Dott. Ing. Costantino Giubileo, Ing. Antonio Sandoli, 2013.
- 19) Tesi di Laurea, *Il comportamento strutturale di pannelli lignei alleggeriti: analisi sperimentale e numerica*, Giovanni Boccia e Antonio Festosi, Prof. Ing. Bruno Calderoni, Ing. Costantino Giubileo, Ing. Andolfo Vincenzo, 2016

- 20) Tesi di Laurea, *Analisi sperimentale su campioni di legno di abete per la caratterizzazione meccanica del materiale*, Angelo Lomonte, Prof. Ing. Bruno Calderoni, Dott. Ing. Costantino Giubileo, Ing. Antonio Sandoli, 2013.
- 21) Tesi di Laurea, *La definizione dei metodi di progettazione strutturale per edifici in legno a pannelli portanti a tavole incrociate (X-lam)*, Antonio Sandoli, Prof. Ing. B. Calderoni, Dott. Ing. C. Giubileo, 2012.
- 22) Tesi di Dottorato, *Experimental and theoretical analysis of the structural behavior of ancient timber structures*, Costantino Giubileo, Prof. Ing. F.M. Mazzolani, 2005.
- 23) Tesi di Laurea, *Caratterizzazione meccanica sperimentale del legno di castagno mediante tecniche di indagine di tipo distruttivo e non distruttivo*, Ciro Di Marino, Prof. Ing. B. Calderoni, Dr. Ing. B. Faggiano, Dr. Ing. M.R. Grippa, 2012.

CAPITOLO 1

CARATTERISTICHE FISICHE E PRODOTTI DEL LEGNO

1.1. Introduzione

La risposta di qualsiasi struttura dipende dalle caratteristiche del materiale di base che la costituisce, quindi per affrontare la sua analisi occorre conoscere preventivamente le proprietà fisico-meccaniche del materiale.

La comprensione approfondita del comportamento del materiale è stato da sempre uno dei capisaldi dell'ingegneria strutturale, perché esso consente di definire un suo modello costitutivo che è il punto di partenza per l'analisi delle strutture.

Pertanto, appare opportuno accennare alle principali caratteristiche del materiale legno in termini di composizione fisica e di risposta meccanica.

1.2. Anatomia e costituzione del legno

Uno dei processi fondamentali per la vita sulla terra è rappresentato dalla capacità delle piante di sintetizzare, nelle loro parti verdi, zuccheri a partire dall'anidride carbonica dell'atmosfera, utilizzando la luce solare. Al fine di esporre le proprie parti verdi (aghi e foglie) al sole, la pianta deve portarle verso l'alto, per questo nel corso di tale evoluzione nasce il tessuto di sostegno che è il legno. Questo materiale trae origine dall'attività vegetativa degli alberi, attraverso un processo di accrescimento primario e secondario, l'uno in altezza e l'altro in diametro del fusto.

L'albero, costituito da *foglie*, *rami*, *tronco* e *radici* svolge sia funzioni biologiche che meccaniche:



Fig. 1.1 Struttura dell'albero*

Il legno ha una propria struttura molto complessa, definita in più livelli di approfondimento, ma allo stesso tempo affascinante.

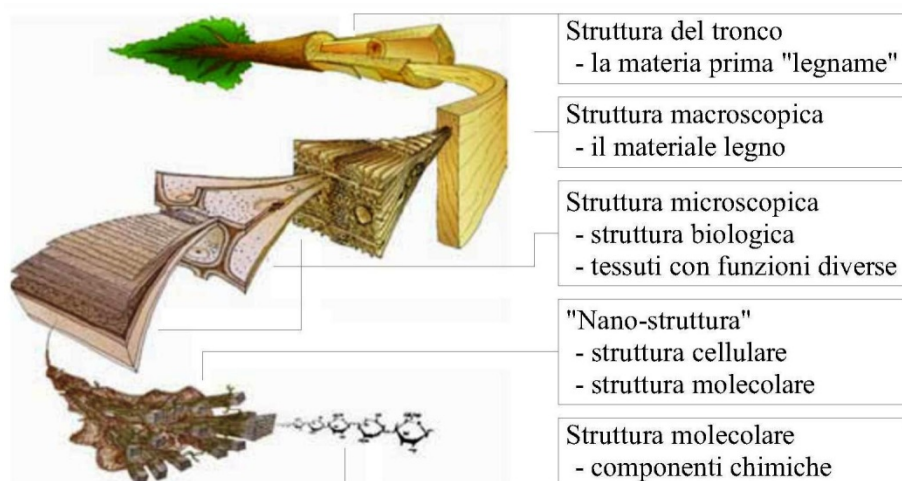


Fig. 1.2 Suddivisione in strutture del tronco*

Il tronco rappresenta la struttura principale che fornisce la materia prima “legname” mentre la sua struttura macroscopica fornisce il legno; nella struttura microscopica, invece, si svolgono tutte le funzioni biologiche, vitali della pianta. Si individua poi una nano-struttura in cui è presente tutto il sistema cellulare e le *fibroso* del legno, ed infine la struttura molecolare in cui si individuano tutte le componenti chimiche.

Dal punto di vista macroscopico, ai fini pratici, si introduce un modello di *fusto ideale* costituito dalla successione di conoidi legnosi concentrici, in cui si individuano tre direzioni/piani principali (Fig. 1.3): *longitudinale* (L), *radiale* (R) e *tangenziale* (T).

Eseguendo una sezione trasversale del tronco (Fig. 1.3), ortogonale alle fibre, si individua una direzione longitudinale parallela alla fibratura, una direzione radiale che è quella perpendicolare alle fibre diretta dal centro verso l'esterno e una direzione tangenziale perpendicolare alla direzione radiale (e quindi alla fibratura).

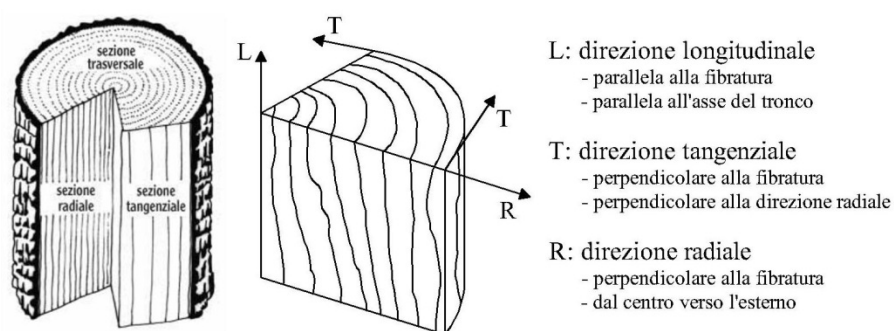


Fig. 1.3 Direzioni principali del legno*

Ragionando in termini di sezioni, si definisce sezione trasversale quella ottenuta dal taglio del tronco ortogonalmente all'asse longitudinale e caratterizzata dalla presenza di cerchi concentrici degli anelli di accrescimento; la sezione radiale è quella ottenuta tagliando il tronco con un piano parallelo all'asse longitudinale e contenente quest'ultimo, caratterizzato dalla presenza di linee all'incirca parallele

all'asse longitudinale; la sezione tangenziale corrisponde ad un piano longitudinale tangente agli anelli concentrici e caratterizzata da "fiammature".

Nella pianta in piedi solo una parte di essa è viva: si tratta di uno strato di poche cellule appartenenti alla zona del *cambio* posta subito dietro alla *corteccia* (Fig. 1.4). In questa zona si formano i nuovi tessuti legnosi verso l'interno (xilema), che hanno principalmente funzioni di sostegno e trasporto della linfa grezza dalle radici alla chioma, di formazione di tessuti legnosi verso l'esterno (corteccia) con funzioni di trasporto della linfa elaborata dalla chioma all'albero (corteccia interna o libro o floema), o con funzioni di protezione (corteccia esterna o riditoma).

L'attività cambiale consiste nella suddivisione di una cellula madre in due cellule cambiali (permettendo l'aumento di diametro del cambio), oppure in una cellula cambiale che può continuare a riprodursi e in una di corteccia (floema) o di legno (xilema).

A partire da circa sei giorni dalla formazione delle nuove cellule figlie, inizia un processo di differenziazione del tessuto in funzione dei compiti che dovrà svolgere all'interno della pianta. La differenziazione che inizia con l'aumento delle dimensioni della cellula sia in diametro che in altezza, comporta l'ispessimento della membrana cellulare a spese degli altri componenti cellulari fondamentali inizialmente presenti (come il nucleo e il protoplasma) ed una modifica chimica dei componenti molecolari della parete (lignificazione). Dopo un periodo di circa venti giorni tale processo degenerativo determina un completo svuotamento del nucleo e del protoplasma: di fatto tutte le cellule mature del legno sono cellule morte, ad eccezione del tessuto cambiale e di altre cellule specializzate per l'immagazzinamento delle sostanze di riserve (tessuto parenchimatico) che rimangono vive anche dopo la differenziazione.

Questo tipo di attività "generativa" di cellule morte (accrescimento secondario) avviene in tutti gli alberi, ovvero in tutti quegli organismi appartenenti alla sottodivisione delle angiosperme e delle gimnosperme, che nel linguaggio comune si indicano rispettivamente come *latifoglie* (caratterizzate dalla presenza di foglie piatte e larghe e dalla presenza di fiori) e *conifere* (caratterizzate da foglie sottili e appuntite e da pseudo frutti a forma conica). In particolare si osserva un maggior grado di specializzazione dell'attività cellulare nel legno di latifolia rispetto a quello di conifera.

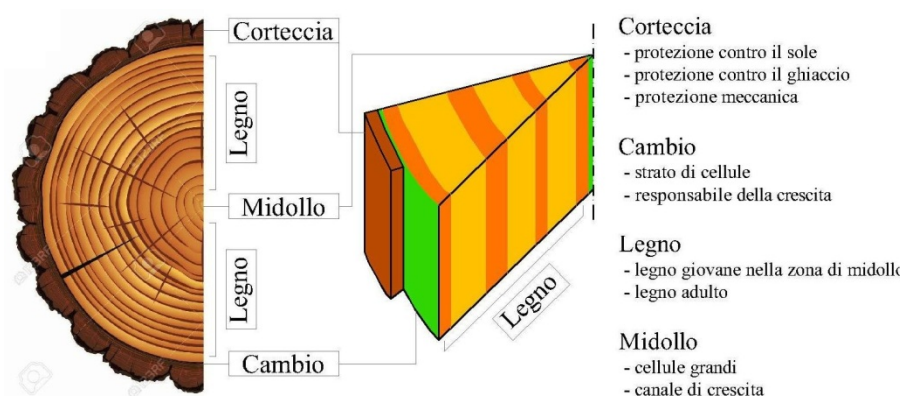


Fig. 1.4 Microstruttura del legno*

Il fusto dell'albero, com'è noto, è costituito da una serie di conoidi concentrici, che visti su di una sezione trasversale si configurano come anelli concentrici detti anche anelli di accrescimento (o cerchi annuali) ognuno di essi corrispondenti ad un anno di vita dell'albero. Questo deriva del fatto che in primavera la pianta manifesta il suo massimo rigoglio e richiede una notevole portata di fluidi nutritivi, che nelle conifere viene assicurato dalle tracheidi grazie ad un largo lume cellulare mentre nelle latifoglie da un elevato numero di vasi di grande diametro.

In entrambi i casi si ha una minor densità di materiale nelle zone primaverili (legno primaticcio o giovanile) che appaiono più chiare di quelle estive- autunnali (legno tardivo).



Fig. 1.5 Legno di conifera*

Questo fenomeno che caratterizza l'aspetto ad anelli concentrici sembra più marcato nelle conifere che nelle latifoglie, pertanto gli anelli di accrescimento sono più visibili nella prima specie legnosa che nella seconda.

Tra le principali specie legnose appartenenti alle conifere si ricordano: *pino rosso*, *pino bianco*, *abete*, *larice*, *douglasia*. Mentre per le latifoglie: *rovere*, *faggio*, *castagno*, *quercia*, *frassino*, *robinia*.

Nel corso della vita della pianta, inoltre, le cellule parenchimatiche muoiono, e a ciò si associano altri fenomeni, tra cui fatti degenerativi che impediscono la circolazione di liquidi e determinano la deposizione di sostanze, spesso colorate. La zona interessata da questo fenomeno si dice *durame* situata nella parte più interna del tronco (per una grande porzione di sezione); la parte restante dello xilema, prossima alla zona cambiale, si dice *alburno*.

Il durame o cuore è la parte morta della pianta, ovvero qui sono presenti cellule morte; ma è la zona "strutturale" che offre resistenza e rigidità, nonché migliore durabilità. L'alburno, invece, è la parte viva della pianta in cui si svolgono funzioni di trasporto della linfa grezza, ha estensione più ridotta ed è caratterizzata da un colore più chiaro.



Fig. 1.6 Durame e alburno*

A questo punto è opportuno fare una precisazione. Come visto, la funzione strutturale del fusto è affidata alle tracheidi nelle conifere (costituenti il 95% del volume totale del legno) ed alle fibre nelle latifoglie (che arrivano fino al 50%). Ma nella pratica tecnica tutte queste tipologie di cellule sono sempre indicate con il termine generico di “fibre legnose”.

Le *fibre* sono assimilabili a tubetti a forma di prisma, la cui composizione chimica varia muovendoci nello spessore dall'interno verso l'esterno.

Dal punto di vista ingegneristico il materiale di cui è composta la parete cellulare si può definire come un materiale composito naturale: in cui la lignina ne costituisce la matrice e le micro fibrille sono il tessuto fibroso ad alta resistenza meccanica.

La comprensione, anche sintetica, della natura del materiale non può prescindere da una esposizione delle natura chimica per quanto riguarda i componenti fondamentali: cellulosa, lignina ed emicellulosa. La cellulosa, è un polimero organico generato dalla policondensazione di un particolare isomero di glucosio, il β -glucosio, la cui condensazione porta alla formazione di cellobiosio (disaccaride) dal quale si forma una molecola con sviluppo prevalentemente lineare. All'interno di tale molecola la presenza del legame C-O-C tra due molecole di glucosio conferisce un alto grado di resistenza a trazione.

L'emicellulosa è un polimero organico chimicamente simile alla cellulosa, ma si differenzia da essa perché è composta non solo da glucosio, ma anche da monosaccaridi e per il basso grado di polimerizzazione.

La lignina, componente “matrice” della parte cellulare, è precipuo del materiale lignina in quanto prodotto dal processo di lignificazione che porta allo svuotamento del protoplasma delle cellule vive ed alla formazione delle pareti cellulari secondarie. La lignina è un complesso polimero tridimensionale tutt'oggi non completamente identificato nei legami chimici e difficile da isolare.

In termini di composizione chimica elementare il legno presenta percentuali in peso pari al 49% di carbonio, al 6% di idrogeno, al 44% di ossigeno, e tracce di altre sostanze come l'azoto.

1.3. Comportamento igroscopico

Il legno può contenere al suo interno quantità d'acqua variabili a seconda delle situazioni in cui si trova. Queste variazioni sono causate sia dalla struttura fisica del materiale poroso, sia dalla natura chimica che comporta interazioni tra l'acqua e i componenti della parete cellulare.

Nella pianta viva la linfa (soluzione acquosa di sostanze nutritive) riempie le cellule legnose; in questo caso la presenza di acqua è dovuta a fenomeni fisici di risalita capillare. Di conseguenza nel legno fresco (cioè quello della pianta appena tagliata) il lume cellulare è completamente o parzialmente riempito di acqua (dominio capillare di acqua libera). Dopo l'abbattimento questi lumi tendono a svuotarsi a causa dell'evaporazione dell'acqua nell'aria ambiente, se l'ambiente è a bassa umidità relativa il processo può proseguire fino al loro completo svuotamento. Al limite si può addirittura verificare lo svuotamento dell'acqua delle pareti cellulari (dominio igroscopico di acqua legata).

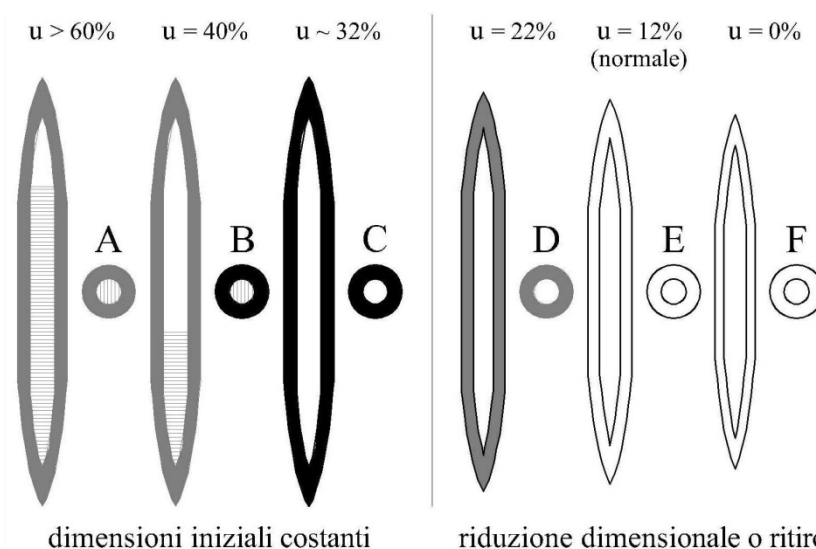


Fig. 1.7 Rappresentazione schematica del comportamento della singola fibra, riduzione dell'umidità dal legno fresco ($u=60\%$) a quello anidro ($u=0\%$).*

La fase di perdita di acqua viene detta *desorbimento*, e determina un ritiro (variazione dimensionale) del materiale.

L'eliminazione quasi completa dell'acqua all'interno del legno si ottiene mettendo il materiale all'interno di una stufa ventilata alla temperatura di $102\pm 2^\circ\text{C}$ per un tempo necessario al raggiungimento della costanza di massa, in questa condizione si parla di *stato anidro* del legno.

Conoscendo la massa m_0 del legno allo stato secco, si può esprimere l'umidità ω del legno (o contenuto d'acqua) di massa m in percentuale rispetto alla massa secca come:

$$\omega = \frac{m - m_0}{m_0} 100 \quad [\%]$$

E' chiaro che la variazione di acqua comporta la conseguente variazione della densità o massa volumica ρ_ω del legno, poiché la densità è data dal rapporto tra la massa e il volume ad una certa densità:

$$\rho_\omega = \frac{m_\omega}{V_\omega}$$

Le variazioni di umidità all'interno del legno sono direttamente collegate alle condizioni climatiche, ovvero ai valori di umidità e temperatura dell'ambiente in cui esso si trova. Infatti, si osserva che un elemento ligneo, qualsiasi sia la condizione di partenza, posto in un ambiente con un fissato set point di condizioni ambientali raggiunge, dopo un certo tempo, una condizione di equilibrio igroscopico con esso.

In ambito ingegneristico assume particolare importanza il valore di umidità del 12% (rispetto alla massa secca), valore che si stima corrispondere ad un equilibrio con un ambiente alla temperatura di 20°C e umidità relativa del 65%. Questa è la condizione che, in Italia, viene considerata come "normale" per il legno (con la quale si determina ad esempio il peso).

I valori tipici del ritiro volumetrico totale sono compresi tra il 9-23% che corrispondono ad un rigonfiamento volumetrico del 10-30% circa.

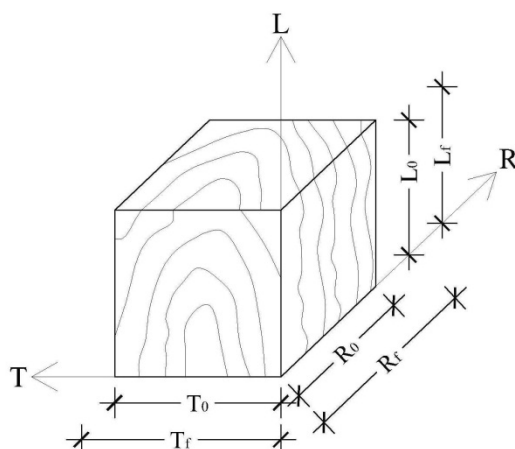


Fig. 1.8 Variazioni volumetriche nelle direzioni anatomiche*

Generalmente il ritiro totale assiale (parallelo alle fibre) è il più piccolo e varia tra il 0,2% ed il 0,5%; il ritiro totale radiale tra il 6% ed il 12%, mentre il ritiro trasversale tra il 6% ed il 12%. Il ritiro in direzione assiale è ingegneristicamente trascurabile.

Ai fini pratici è più utile definire la deformazione da ritiro/rigonfiamento per ciascuna direzione come:

$$\varepsilon_{LRT} = \frac{\Delta L_{LRT}}{L_{LRT} \Delta \omega} 100$$

In letteratura si forniscono dei coefficienti di variazione dimensionale e per una deformazione $\varepsilon = 1\%$ come in Tabella 1.

Specie	ε_T	ε_R	ε_L
Conifere	0,24	0,12	0,01
Latifoglie	0,40	0,20	0,01

Tab. 1.1 Coefficiente di variazione dimensionale

I differenti valori dei coefficienti di ritiro e rigonfiamento nelle tre direzioni evidenziano una spiccata *anisotropia* del materiale in relazione ai movimenti igroscopici.

1.4. Influenza dell'umidità sulla stabilità dimensionale

Le variazioni dimensionali sono un problema molto risentito negli elementi in legno, infatti comportano delle distorsioni della loro forma originaria.

Il fenomeno del ritiro inizia quando l'umidità del legno scende al di sotto del 30% e si manifestano diversamente nelle tre direzioni anatomiche. Il ritiro tangenziale (massimo) tende ad accorciare gli anelli di accrescimento in senso tangenziale; il ritiro radiale (intermedio) tende ad avvicinare gli anelli al centro riducendone lo spessore; il ritiro assiale (minimo) tende ad accorciare le cellule in senso assiale.

La diminuzione di umidità propria del legno fresco provoca l'instaurarsi di stati di sforzo interni che inducono i cosiddetti "movimenti": deformazioni che variano di aspetto ed entità a seconda della posizione in cui è stato eseguito il taglio all'interno del tronco.

La differenza tra il ritiro radiale e tangenziale provoca nei tronchi, col procedere della stagionatura, della fessure a V che si estendono dalla zona midollare verso quella più periferica (Fig. 1.9).



Fig. 1.9 Fessura a "V" (abete)*

In conseguenza di questi movimenti gli elementi lignei che vengono segati all'interno del tronco presentano delle distorsioni che possono essere più o meno accentuate a seconda della zona in cui vengono ricavate. Ad esempio un elemento ottenuto con taglio nella zona midollare (taglio a tutto cuore) è soggetto a forti fessurazioni in seguito all'evaporazione del midollo, contenuto in questa zona in grandi quantità. Le tavole ottenute in direzione tangenziale sono soggette ad *imbarcamento* a causa delle diverse deformazioni tra la direzione radiale e tangenziale.

Altre distorsioni tipiche degli elementi in legno sono l'arcatura, la falcatura e lo svergolamento, in genere associati ad altri fenomeni (legno di reazione, fibratura elicoidale).

In questo capitolo si è voluto accennare al problema della stabilità dimensionale degli elementi in legno perché questo fenomeno è risentito anche negli elementi bidimensionali (pannelli).

1.5. Difetti del legno

I difetti sono delle deviazioni dalla normalità sia della struttura che delle caratteristiche fisiche e meccaniche, e possono derivare dalle condizioni in cui si è formato il fusto arboreo per effetto dell'ereditarietà o per effetto di cause esterne. In ogni caso essi producono un degrado delle proprietà meccaniche del materiale.

Tra i principali difetti che interessano i legnami da costruzione si ricordano:

- Deviazione della fibratura
- Ferite e fratture interne
- Legno di reazione
- Nodi

La *deviazione della fibratura* è frequente nel caso di piante cresciute in presenza di forte vento. Si possono generare diversi tipi di deviazioni: la fibratura elicoidale caratterizzata da una deviazione in un'unica direzione, la fibratura intrecciata che presenta deviazione in direzioni discordanti nei successivi accrescimenti e la fibratura ondulata che presenta deviazione irregolare.

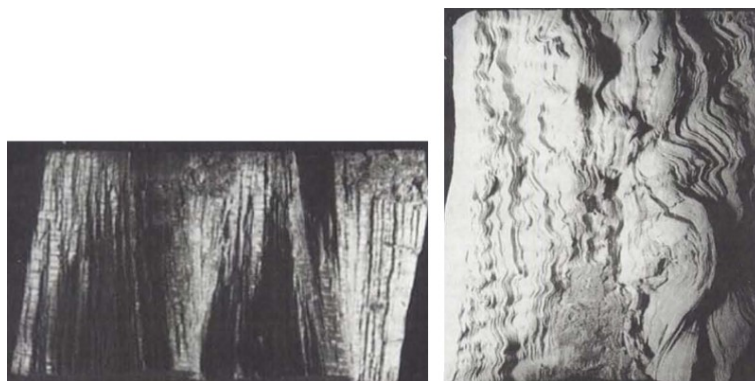


Fig. 1.10 Fibratura intrecciata e irregolare*

La deviazione della fibratura comporta un degrado delle caratteristiche meccaniche tanto più accentuato quanto più aumenta l'angolo di inclinazione delle fibre.

Per le principali *ferite e fratture interne* si ricordano: la *cipollatura* che consiste in una separazione totale o parziale degli anelli di accrescimento, è un difetto molto grave che pregiudica la resistenza del materiale le cui cause principali sono dovute a brusche variazioni degli spessori degli anelli o ad un andamento discorde della fibratura tra due strati contigui; le *tasche di resina* che consistono in zone di separazione dei tessuti riempiti di resina, dovuto a traumi che provocano distacco tangenziale dei tessuti; *ferite e cretti* che rappresentano discontinuità di vario tipo.

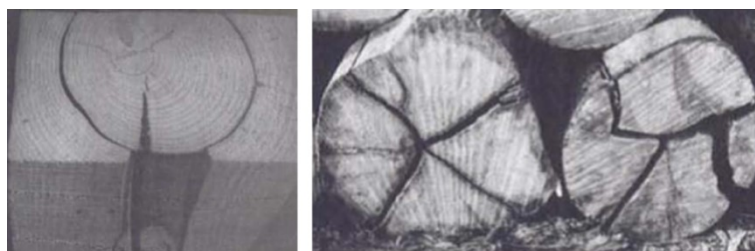


Fig. 1.11 Cipollatura e fenditure da tensioni interne*

Il *legno di reazione* si divide in legno di trazione e in legno di compressione, è un tessuto legnoso anomalo che si origina in conseguenza di carichi trasversali persistenti che agiscono sulla pianta in piedi (si verifica in zone ventoso oppure quando il fusto della pianta presenta un andamento a ginocchio vicino alla base a causa della presenza della neve su un terreno declive).

Il legno di trazione, tipico delle latifoglie, si attiva nella zona tesa con formazione di una sezione eccentrica, ovvero aumento dell'area a monte o sopravvento.

Il legno di compressione (detto anche legno canastro), invece, è tipico delle conifere e si manifesta quando la pianta è sollecitata da azioni trasversali tipo il vento. Questo legno si manifesta nelle zone compresse sottovento (o a valle) determinando eccentricità anche più marcate rispetto al legno di trazione. Dal punto di vista anatomico il legno di compressione è caratterizzato da fibre di forma tondeggianti, non a pieno contatto fra di loro.



Fig. 1.12 Legno di compressione (abete rosso)

Il legno di reazione rappresenta un grave difetto soprattutto all'interno dei segati a causa delle forti differenze di comportamento rispetto al legno normale. In particolare si possono determinare deformazioni indesiderate delle tavole legate al diverso ritiro delle facce (arcuatura) o dei bordi (falcatura), oppure ancora una completa distorsione della tavola (svergolamento).

I *nodi* sono dovuti all'innesto di un ramo nel tronco (o di un ramo all'interno dell'altro) ed è un difetto fisiologico. Questo difetto comporta la deviazione della fibratura intorno al nodo stesso, una maggiore durezza, diverso ritiro e discontinuità dei tessuti. Se l'inclusione del ramo avviene quando il ramo è ancora vivo si parla di *nodo sano aderente*; se il ramo è morto tra esso e il fusto rimane la corteccia e si parla di *nodo sano scadente*.

La presenza del nodo all'interno dell'elemento strutturale rappresenta comunque un difetto molto grave dal punto di vista strutturale, poiché determina la presenza di un vuoto lungo la sezione trasversale.

Quando si parla di strutture in legno non si può prescindere dalla presenza dei difetti dal momento che essi sono sempre presenti nel materiale di base. Infatti per definire la resistenza meccanica del legno occorre sempre fare una distinzione tra legno netto e legno strutturale.

Il *legno netto* è quello privo di difetti (ideale), mentre quello *strutturale* (o *in dimensioni d'uso*) è il legno che contiene i difetti, e quindi presenta proprietà meccaniche più scadenti rispetto al primo.

1.6. I prodotti del legno

In natura il legno fornisce alle piante un supporto per esporre alla luce le parti verdi in cui avviene la fotosintesi clorofilliana, di conseguenza assume la forma di colonne. Pertanto esso è ideale per realizzare elementi portanti verticali di tipo monodimensionali (colonne, pali di fondazione) e orizzontali (travi, mensole), mentre sembra meno adatto alla realizzazione di elementi bidimensionali (pannelli). Tuttavia l'uomo si è ingegnato in modo da poter ottenere anche questi tipi di elementi, grazie a processi di lavorazione a livello di segheria e industriale.

I prodotti a base di legno per uso strutturale possono essere di due tipi:

- *elementi lineari*
- *elementi piani*

Per elementi lineari si intendono elementi prevalentemente inflessi di tipo monodimensionale (tipo trave), mentre per elementi bidimensionale sono quelli con funzionamento a lastra e a piastra.

In particolare gli elementi piani, ottenuti dal legno massiccio, si dividono in elementi *monostrato* e *a più strati*, e possono esibire un comportamento monodirezionale (tipo trave) o bidirezionale (tipo piastra). A loro volta quelli a più strati si dividono in *pannelli stratificati* e *pannelli compensati*.

Di seguito si riporta una breve rassegna delle diverse tipologie di elementi che si possono ottenere con il legno massiccio.

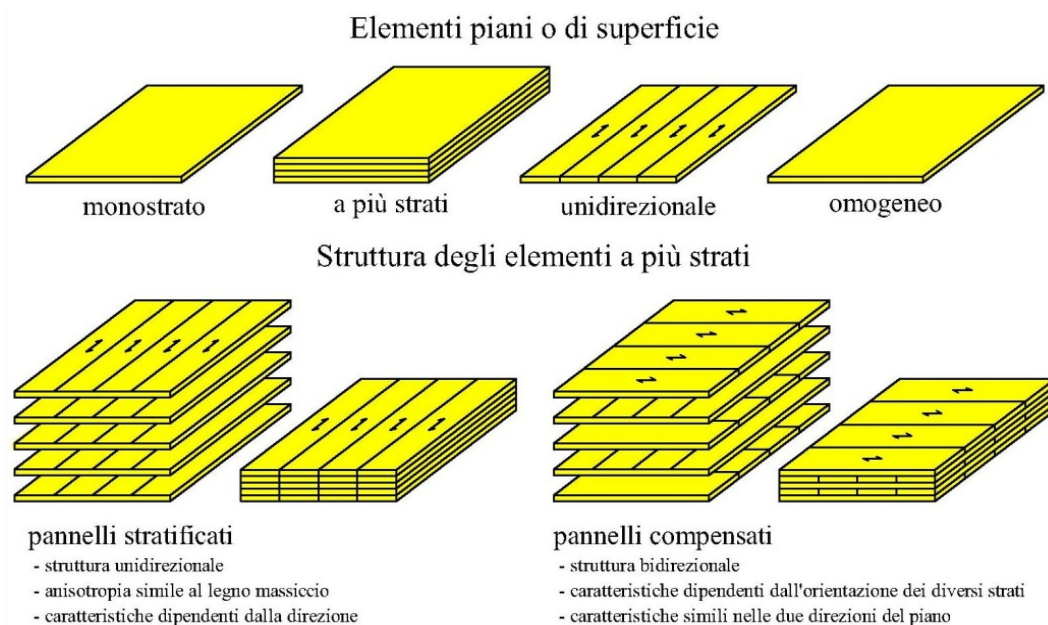


Fig. 1.13 Elementi bidimensionali*

I segati e suoi prodotti

I segati sono quei prodotti che si ottengono a partire dal *tondame* (tronco vero e proprio) mediante lavorazioni in segheria. In particolare, dal tronco si possono ottenere da una parte il *legno squadrato* (tavole, listelli) impiegato per realizzare elementi strutturali lineari e dall'altra elementi piani molto sottili che sono gli *sfogliati o piallacci*, utilizzati per realizzare elementi bidimensionali (pannelli).

Inoltre il tondame può subire lavorazioni industriali se finalizzato alla realizzazione di *trucioli o fibre di legno* (anch'essi impiegati per realizzare i pannelli).

Il tondame, ottenibile per ogni specie legnosa, si ottiene scorticando il tronco essiccato all'aria aperta; i diametri delle sezioni arrivano fino a 30 centimetri e lunghezze fino a 20 metri.

Anche il legno squadrato è ottenuto in segheria, essiccato all'aria, e presenta lunghezze fino a 14-18 metri, le sezioni da 180/280 mm, e si producono sottoforma di tavole, listelli, tavoloni.

Gli sfogliati si ottengono facendo ruotare il tronco intono ad un perno e sfogliandolo in strati sottili da 1 mm a 4 mm; si ottiene così un foglio largo quanto il tronco e lungo quanto si desidera.

I tranciati, invece, si ottengono tagliando il legno su di una sezione trasversale parallela all'asse longitudinale del tronco (fig. 1.14).

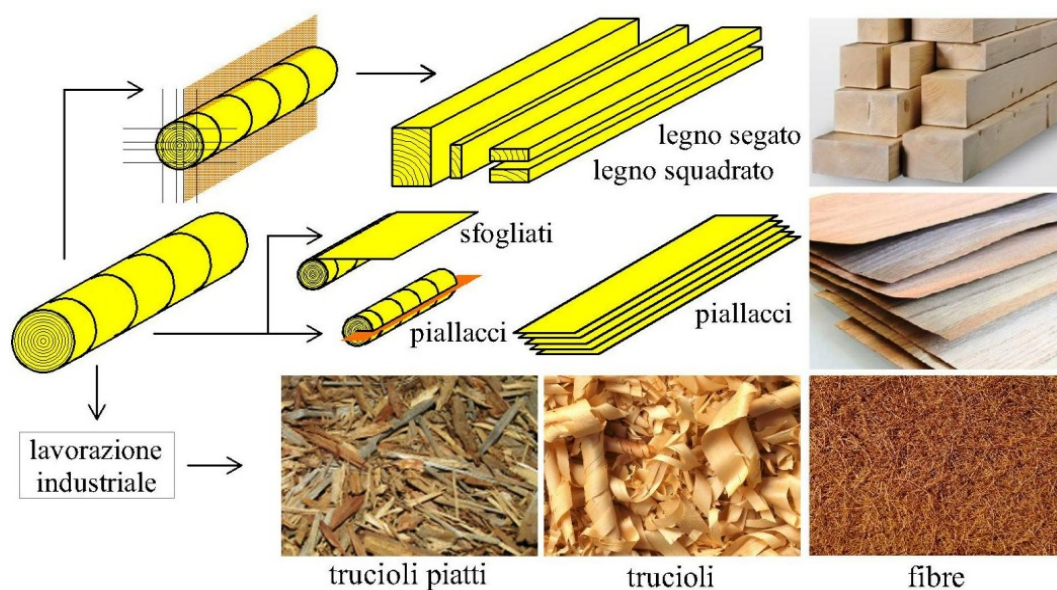


Fig. 1.14 Fasi di lavorazione dei segati*

Dagli elementi squadrati si possono realizzare elementi tipo trave come i prodotti di legno massiccio incollato, cosiddetti *KVH*. Questi elementi si ottengono realizzando sulle facce estreme dell'elemento un *giunto a pettine* o *a dita* ed incollando più listelli, uno dietro l'altro, fino ad ottenere la lunghezza desiderata.

Il giunto a pettine si ottiene mediante lavorazione industriale partendo dal taglio dei pezzi, a cui segue l'operazione di fresatura del profilo, di incollaggio e infine di pressaggio degli elementi.

L'uso del giunto a dita è di particolare importanza perché permette di eliminare i difetti del legno (soprattutto i nodi) tagliando la porzione di elemento in cui essi sono presenti, e incollando nuovamente i due pezzi.



Fig. 1.15 Giunto a pettine*

Il giunto a dita assume la forma mostrata in figura 1.15 proprio per favorire un ottimale trasferimento dello sforzo da una parte all'altra dell'elemento, infatti in questa zona gli sforzi assiali esterni si trasformano in sforzi tangenziali che agiscono su una superficie abbastanza grande. Ciò conferisce resistenza in questa zona perché la colla non viene sollecitata a trazione, la cui resistenza sarebbe minima, ma a taglio nei confronti del quale esibisce ottima resistenza.

Terminato il processo di produzione del giunto, segue la fase di controllo di qualità e certificazione dello stesso, eseguita sempre in ambito industriale.

Dagli elementi KVH si ottengono le travi cosiddette *duo* e *trio* (fig. 1.17): sono listelli alle cui estremità presentano dei giunti a dita (o mini-dita) che permettono di incollarli uno dietro l'altro ottenendo la lunghezza desiderata; dopodichè si provvede ad incollare questi elementi tra di loro sulle faccie ottenendo una vera e propria trave. Questi elementi, prodotti principalmente in abete rosso (o in altri tipi di conifere) possono raggiungere lunghezza fino a 18 metri e le sezioni sono in genere predefinite: da 80/140 fino a 120/240 o da 180/180 fino a 180/240.

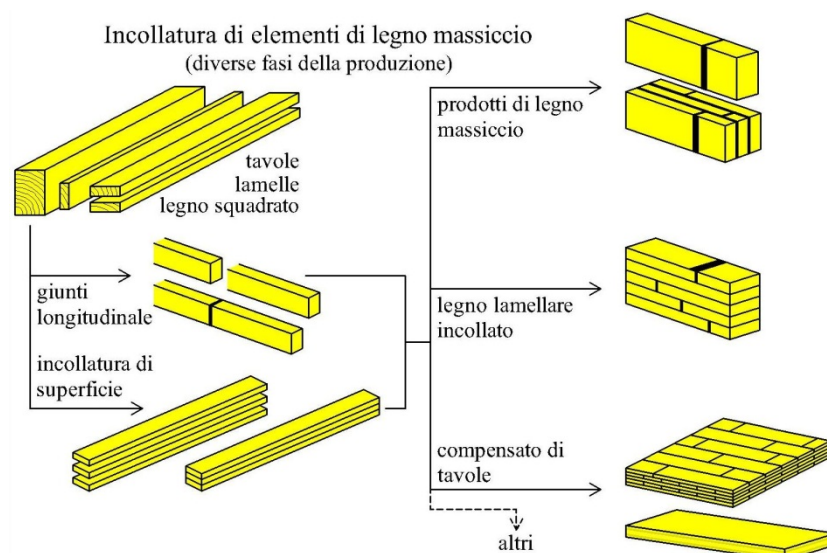


Fig. 1.16 Prodotti ottenuti dal legno massiccio*

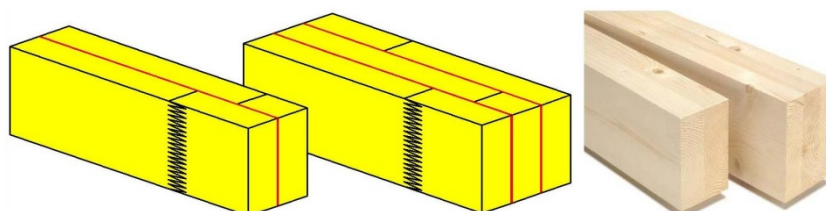


Fig. 1.17 Duo e trio*

Utilizzando le lamelle di legno massiccio, collegate tra di loro in senso longitudinale (mediante giunti a dita) e poi incollate uno sopra all'altra tra le faccie orizzontali, si ottengono gli elementi in *legno lamellare* (legno massiccio incollato). Le lamelle, opportunamente classificate, hanno uno spessore tra 30 e 45 mm e larghezza tra 10 e 25 cm. Le lamelle, con lunghezza che varia dai 4 ai 6 metri, vengono incollate con giunti a pettine in modo da poter ottenere travi di lunghezza teorica infinita, ma in genere queste raggiungono un massimo di 18 metri che è il limite massimo per il trasporto su strada.

Le specie legnose che principalmente vengono impiegate per il legno lamellare sono quelle della famiglia delle conifere (abete rosso, abete bianco, douglas, larice).

L'introduzione del legno lamellare ha dato la possibilità di migliorare le prestazioni meccaniche degli elementi strutturali, da una parte perchè si possono impiegare solo i pezzi di legno di qualità migliori, dall'altra perchè, grazie alla tecnica dei giunti a dita, si possono eliminare i difetti naturali del materiale.

I pannelli

Nel presente lavoro di tesi, viene studiato e analizzato il comportamento di pannelli portanti in legno, pertanto sembra opportuno effettuare una classificazione approfondita delle diverse tipologie di pannelli attualmente disponibili sul mercato.

Il concetto base per realizzare un pannello in legno è sempre quello di ridurre il tronco in elementi di dimensioni ridotte e “rimontare” questi ultimi mediante l’impiego di adesivi (colle). Trattandosi di un materiale “artificiale” il loro comportamento è prevedibile in maniera più accurata di quanto lo possa essere per il legno massiccio.

I pannelli in legno si dividono, sia dal punto di vista tecnologico che strutturale, in due grandi categorie:

- pannelli compensati
- pannelli stratificati

Il compensato di tavole

Il pannello compensato è un elemento di *legno massiccio* di grandi dimensioni, spesso definito anche come “lamellare piano”. Infatti è ottenuto impiegando tavole (da 17 a 35 mm di spessore), simili a quello si usano pure per il legno lamellare, ma questa volta per ottenere elementi strutturali piani. Queste tavole vengono prima giuntate tra di loro in senso longitudinale mediante giunti a pettine, successivamente vengono accostate e incollate, ottenendo così un primo strato con le tavole orientate tutte nello stesso verso. Dopodichè il singolo strato viene posizionato su quello inferiore orientando le tavole in direzione ortogonale a quest’ultimo. Il pannello finale sarà costituito da un insieme di strati di tavole a strati ortogonali (fig. 1.18), per questo motivo molto spesso viene denominato anche come legno lamellare piano a strati incrociati.

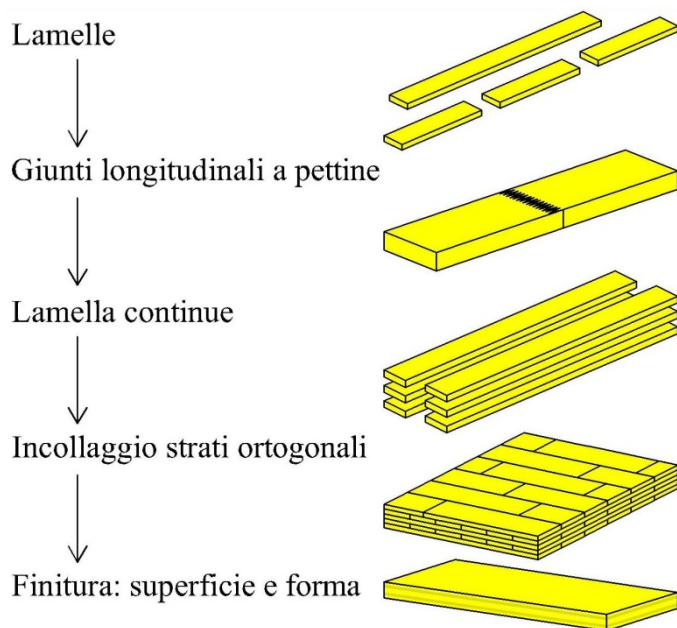


Fig. 1.18 Processo di realizzazione del pannello compensato*

Le dimensioni dei pannelli sono variabili: lunghezze fino a 15-20 metri, larghezze fino a 4,80 metri, e spessori che sono funzione del numero di strati; generalmente in commercio sono disponibili a tre e a cinque strati, quindi variano da 50 a 500 mm. Il vantaggio di questi tipi di pannelli è quello di godere di buona stabilità dimensionale nelle due direzioni del piano nei riguardi dei fenomeni di ritiro e rigonfiamento, questo perché essendo a strati incrociati le deformazioni nei due sensi si compensano. Un altro vantaggio è che sono elementi a funzionamento bidirezionale con un comportamento meccanico simile nelle due direzioni ortogonali (anche se la resistenza è dimezzata rispetto allo stesso pannello ottenuto con strati a tavole orientate tutte in un verso).

Vengono impiegati per realizzare pareti portanti di edifici (*X-lam*), impalcati di edifici, impalcati da ponte.

Infine, esiste una tipologia di pannelli di legno massiccio molto simile a questa appena descritta, caratterizzata dalla presenza di tavole molto sottili giuntate a pettine, ma senza giunti longitudinali, le cui dimensioni complessive sono più ridotte (4x6 metri) impiegato soprattutto come elementi divisorii interni negli edifici.

Lo stratificato di tavole

I pannelli stratificati di tavole sono costituiti da strati di tavole, collegate in senso longitudinale da giunti a dita, disposti uno sopra all'altro ma orientate tutte nella stessa direzione; i diversi strati sono disposti però in modo sfalsato. Ciò vuol dire che esibiscono un funzionamento monodirezionale (tipo trave).

Hanno quindi una anisotropia simile al legno massiccio e sono molto sensibile al ritiro e rigonfiamento nelle direzioni nel piano del pannello, in particolare le maggiori variazioni dimensionali si risentono in senso trasversale.

Il vantaggio rispetto al pannello compensato è quello che a parità di strati presenta una maggiore resistenza meccanica dal momento che gli strati di tavole sono orientate tutte con le fibre nello stesso verso.

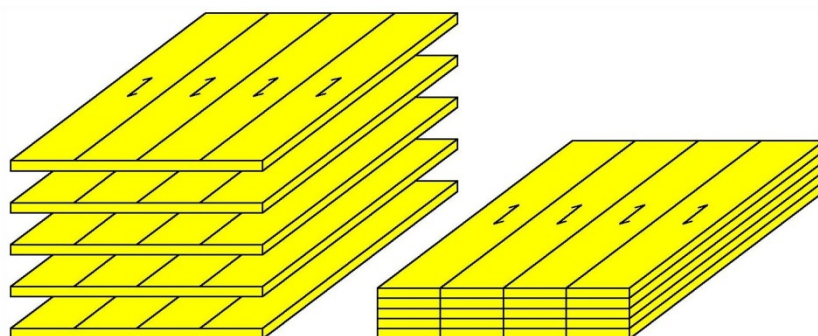


Fig. 1.19 Pannello stratificato *

Pannelli di piallacci

I pannelli di piallacci possono essere di tipo:

- stratificato (kerto Q);
- compensato (kerto S).

I pannelli *kerto S* (Swedlam) si ottengono posizionando, uno sopra all'altro, degli strati di piallacci giuntati tra di loro (con giunto a becco di flauto). Si ottiene un pannello a comportamento unidirezionale ad alta resistenza e rigidità (superiori al legno massiccio). Lo svantaggio è quello di essere sensibile alle variazioni dimensionali.

Lo spessore di questi pannelli varia da 21 a 90 mm, la larghezza fino a 2,50 metri e lunghezze fino a 23 metri.

I pannelli *kerto Q*, realizzati principalmente in legno di faggio e abete, si ottengono alternando gli strati di piallacci in senso ortogonale fra di loro. Pertanto esibiscono resistenza e rigidità nelle due direzioni (può funzionare sia a lastra che a piastra), e ritiro e rigonfiamento minimo nelle due direzioni del piano del pannello.

Le dimensioni sono le stesse di quello dei pannelli *kerto S*.

Pannelli di scaglie

I pannelli di trucioli sono detti anche *OSB* (oriented strands board), e sono costituiti da scaglie, ovvero scarti di lavorazione. Questi pannelli, che si possono realizzare orientando volutamente le scaglie o meno, hanno mediocri caratteristiche meccaniche, con effetto piastra possibile ma effetto lastra limitato (ma possibile).

In genere vengono impiegati come elementi non strutturali, o come elementi di completamento di strutture intelaiate in legno (sistema di controventatura).



Fig. 1.20 Pannello OSB*

Pannelli di trucioli e di fibre

Per completezza di classificazione si ricordano anche i pannelli di trucioli e quelli di fibre. I pannelli di trucioli sono costituiti da scarti di lavorazione, ma che sono ancora più piccoli delle scaglie; gli spessori variano da 2 a 30 mm mentre le dimensioni in pianta vanno da 2 a 5 metri. Questa tipologia è sempre meno impiegata in quanto sostituita dai pannelli OSB.

I pannelli di fibre, invece, sono simili a quelli di trucioli ma possono essere caratterizzati da diversi gradi di densità in funzione del grado di compressione delle fibre. Anch'esso è impiegato in ambito non strutturale, ma soprattutto come elemento di isolamento termico.

*le immagini di questo capitolo sono prese da “*Strutture in legno: materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee*” di Piazza, Tomasi e Modena.

CAPITOLO 2

COMPORTAMENTO MECCANICO DEL LEGNO

2.1. Introduzione

In questo capitolo si affronta in maniera breve e speditiva il problema della determinazione delle relazioni esistenti tra lo stato di tensione e quello di deformazione per il materiale a comportamento linearmente elastico.

2.2. Isotropia, anisotropia e ortotropia

Per introdurre al problema della modellazione meccanica del materiale è necessario ricordare alcune definizioni e distinzioni importanti che si danno in *teoria dell'elasticità*.

Innanzitutto, un materiale si definisce a comportamento elastico (o iperelastico) quando a partire da uno stato di deformazione iniziale, viene portato per l'intervento di azioni esterne in un altro stato, ma alla scomparsa degli enti sollecitanti ritorna nello stato iniziale senza mantenere traccia alcuna della deformazione subita (qualunque essa sia stata). In gergo si dice che la trasformazione avvenuta è reversibile.

Inoltre, è noto che in teoria dell'elasticità, sotto l'ipotesi di iperelasticità, si ammette l'esistenza di un potenziale elastico che conduce alla nota relazione costitutiva del materiale elastico espressa nella seguente forma:

$$\sigma = \mathbf{C} \varepsilon$$

Essendo σ ed ε rispettivamente i vettori dello stato di tensione e deformazione rappresentati nello spazio di Voigt a sei dimensioni e \mathbf{C} la matrice delle costanti elastiche di dimensione 6×6 . Si dimostra che la matrice \mathbf{C} è simmetrica e presenta quindi 21 costanti elastiche indipendenti, ed è pure invertibile, pertanto ammette la matrice inversa $\mathbf{A} = \mathbf{C}^{-1}$ (detta matrice di cedevolezza). Il numero delle costanti elastiche indipendenti contenute nella matrice di rigidezza \mathbf{C} varia a seconda che il comportamento del materiale sia isotropo, ortotropo o anisotropo.

Un materiale si definisce *isotropo* se non presenta direzioni preferenziali di comportamento ed il suo legame dovrà risultare indipendente dal sistema di riferimento in cui le componenti di sforzo e deformazione sono rappresentate. Detto in altri termini, è isotropo se esibisce sempre la stessa risposta per ogni direzione possibile di sollecitazione (le costanti elastiche assumono lo stesso valore in ogni

direzione). Quindi presenta infiniti piani di simmetria delle costanti elastiche. Per il materiale isotropo le costanti elastiche contenute nella matrice \mathbf{C} si riducono solamente a due: E (o G) e ν .

Al contrario, un materiale avente proprietà diverse secondo tutte le direzioni si dice *anisotropo*. In questo caso le costanti elastiche indipendenti si riducono a ventuno.

Fra il materiale isotropo e quella anisotropo si collocano una serie di materiali dotati di certe simmetrie, tra cui il materiale ortotropo.

Un materiale si definisce *ortotropo* se il suo comportamento è simmetrico rispetto a tre piani mutuamente ortogonali; ovvero se presenta tre piani di simmetria, mutuamente ortogonali, delle costanti elastiche. Questi si dicono anche piani principali del materiale, mentre le direzioni ad essi ortogonali si dicono assi di ortotropia. Si dimostra che nel caso del materiale ortotropo le costanti elastiche indipendenti si riducono a nove.

Per completezza si esplicita il significato di alcuni simboli ricorrenti di seguito. Si indica con E il modulo di elasticità normale (o di Young), con G il modulo di elasticità tangenziale, con ν il modulo di Poisson.

2.3. Modellazione meccanica del materiale

Il legno deve essere riguardato come un materiale anisotropo. Il tronco può pensarsi come composto da un certo numero di pareti cilindriche concentriche in modo da potersi approssimare come un elemento a simmetria cilindrica con asse coincidente con quello midollare. Questa rappresenta una prima approssimazione, infatti si dovrebbe considerare un tronco di cono anziché un cilindro.

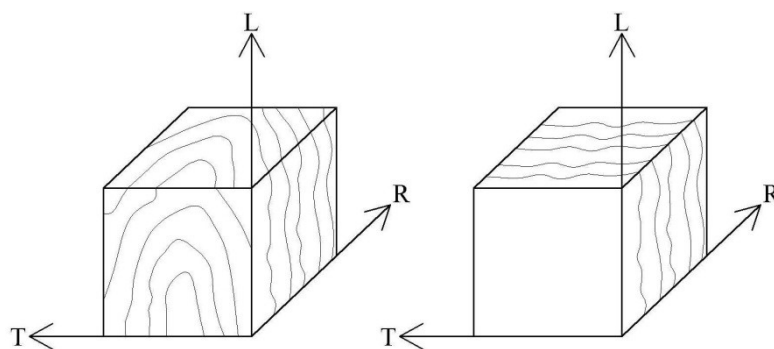


Fig. 2.1 Cubetto di materiale

Se si considera un cubetto di materiale sufficientemente piccolo ad una certa distanza dall'asse, e chiamato con L , R e T le tre direzioni anatomiche principali del materiale (longitudinale, radiale e tangenziale), una ulteriore semplificazione consiste nel considerare gli anelli di accrescimento (circonferenze) sostituiti da strati piani (Fig. 2.1).

Evidentemente le semplificazioni così introdotte risultano tanto più veritiere quanto più l'elemento ligneo è ricavato lontano dall'asse midollare, in rapporto alla sua dimensione trasversale (Fig. 2.2).

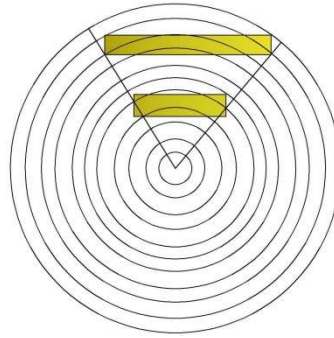


Fig. 2.2 Distanza delle tavole dall'asse midollare

Quindi, gli errori di modellazione saranno massimi per le tavole (o elementi) ricavati con la presenza di midollo e minimi per la cosiddette tavole tangenziali ricavate ad una certa distanza dall'asse midollare.

In quest'ultima ipotesi, il materiale legno è schematizzabile come *ortotropo* rispetto ai tre piani sopra indicati. Assodato che il materiale legno viene modellato come ortotropo è possibile effettuare uno studio più approfondito circa le costanti elastiche in gioco.

Si è già specificato che per questo materiale le costanti elastiche indipendenti si riducono a nove in luogo delle ventuno del materiale anisotropo.

Le relazioni costitutive per il materiale linearmente elastico ortotropo, espresse con la notazione di Voigt, sono:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_L \\ \varepsilon_R \\ \varepsilon_T \\ \gamma_{RT} \\ \gamma_{LT} \\ \gamma_{LR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & 0 & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & 0 & 0 & 0 \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & A_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & A_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_L \\ \sigma_R \\ \sigma_T \\ \tau_{RT} \\ \tau_{LT} \\ \tau_{LR} \end{bmatrix}$$

La matrice di cedevolezza rispetta la condizione di simmetria pertanto si ha che il generico elemento della matrice $a_{ij} = a_{ji}$. Scritto in forma esplicita risulta:

$$\begin{aligned} A_{12} &= -\frac{\nu_{LR}}{E_L} = -\frac{\nu_{RL}}{E_R} \\ A_{13} &= -\frac{\nu_{TL}}{E_L} = -\frac{\nu_{LT}}{E_T} \\ A_{23} &= -\frac{\nu_{RT}}{E_R} = -\frac{\nu_{TR}}{E_T} \end{aligned}$$

Essendo ν il modulo di Poisson (ν_{xy} rappresenta il modulo in direzione y quando la sollecitazione agisce secondo x), e E_L , E_R e E_T rispettivamente i moduli di Young nelle direzioni longitudinale, radiale e tangenziale.

Inoltre i termini sulla diagonale principale scritti in forma esplicita risultano:

$$A_{11} = \frac{1}{E_L}; A_{22} = \frac{1}{E_R}; A_{33} = \frac{1}{E_T}; A_{44} = \frac{1}{G_{RT}}; A_{55} = \frac{1}{G_{LT}}; A_{66} = \frac{1}{G_{LR}}$$

Pertanto le formule di Navier assumono la seguente forma:

$$\begin{aligned}\varepsilon_L &= \frac{1}{E_L} (\sigma_L - \nu_{LR}\sigma_R - \nu_{LT}\sigma_T) \\ \varepsilon_R &= \frac{1}{E_R} (\sigma_R - \nu_{RL}\sigma_L - \nu_{RT}\sigma_T) \\ \varepsilon_T &= \frac{1}{E_T} (\sigma_T - \nu_{LT}\sigma_L - \nu_{TR}\sigma_R) \\ \gamma_{RT} &= \frac{\tau_{RT}}{G_{RT}}; \quad \gamma_{LT} = \frac{\tau_{LT}}{G_{LT}}; \quad \gamma_{LR} = \frac{\tau_{LR}}{G_{LR}}\end{aligned}$$

Da valori riportati in letteratura, è possibile osservare che la simmetria matriciale viene confermata anche da dati sperimentali a patto di non confrontare solamente i moduli di Poisson che in realtà sono dei valori molto piccoli (Tab. 2.1 e 2.2).

Rapporto	Conifere	Latifoglie
ν_{LR}	0,370	0,370
ν_{LT}	0,420	0,500
ν_{LR}	0,470	0,670
ν_{LT}	0,350	0,330
ν_{LR}	0,041	0,044
ν_{LT}	0,033	0,027

Tab. 2.1 Moduli di Poisson

Materiale	E_L [GPa]	E_R [GPa]	E_T [GPa]	G_{LR} [GPa]	G_{LT} [GPa]	G_{RT} [GPa]
Abete rosso	11,71	0,83	4,94	0,70	0,66	0,07
Douglasia	14,50	0,96	0,09	0,83	0,76	0,08
Larice	14,13	1,05	0,69	0,84	0,78	0,09
Pioppo	10,76	0,76	0,33	0,59	0,42	0,13
Pino	11,52	1,00	0,65	0,81	0,75	0,09
Quercia	13,82	1,28	0,66	0,99	0,74	0,25

Tab. 2.2 Moduli di elasticità normale e tangenziale

E' da precisare che i valori dei moduli elastici variano sensibilmente con la massa volumica e quindi con la specie legnosa (conifere e latifoglie). Nonostante queste variazioni i seguenti rapporti possono considerarsi costanti per le diverse specie legnose:

$$\begin{aligned}E_L : E_R : E_T &\approx 20:1,6:1 \\ G_{LR} : G_{LT} : G_{RT} &\approx 10:9,4:1 \\ E_L : G_{LR} &\approx 14:1\end{aligned}$$

Visti i valori assunti da queste proprietà dal legno, si può introdurre una ulteriore ipotesi semplificativa: considerare un'unica sezione trasversale confondendo le direzioni anatomiche radiale e tangenziale. Questo vuol dire considerare il materiale dotato della proprietà di *isotropia traversa*, ovvero uno dei piani di simmetria diventa un piano di isotropia del materiale. Questo implica che $E_T =$

E_R e quindi anche $\nu_{RT} = \nu_{TR}$ il modulo tangenziale G è unico in questo piano, pertanto le costanti elastiche indipendenti si riducono a cinque.

Con quest'ultima semplificazione il materiale è caratterizzato da due direzioni principali, quella longitudinale (parallela alle fibre) indicata con pedice "0" (ad esempio E_0) e quella ad essa ortogonale (ortogonale alle fibre) indicata con pedice "90" (ad esempio E_{90}).

In mancanza di determinazioni specifiche, per il legno di conifera si può accettare che:

$$G \cong \frac{E_0}{16}; \quad E_{90} = \frac{E_0}{30}$$

2.4. Resistenza a trazione e compressione del legno netto

Per legno netto si intende quello privo di difetti macroscopici, quindi ci si riferisce a piccoli pezzi di legno e non a quelli in dimensione d'uso.

La risposta del legno per sollecitazioni assiali è fortemente influenzata dall'angolo di inclinazione tra lo sforzo applicato e la direzione della fibratura.

I massimi valori di resistenza si ottengono sempre nella direzione parallela alle fibre, mentre in direzione ortogonale si ottengono dei valori molto inferiori (circa un ordine di grandezza). Nel caso di sforzi inclinati la resistenza risulta anch'essa intermedia tra i due casi precedenti, ed è funzione dell'angolo di inclinazione.

E' quindi evidente che la resistenza del legno va analizzata in funzione dell'inclinazione tra la direzione dello sforzo e quella della fibratura.

Di seguito si riporta un diagramma σ - ϵ riassuntivo per sollecitazioni parallele e ortogonali alle fibre.

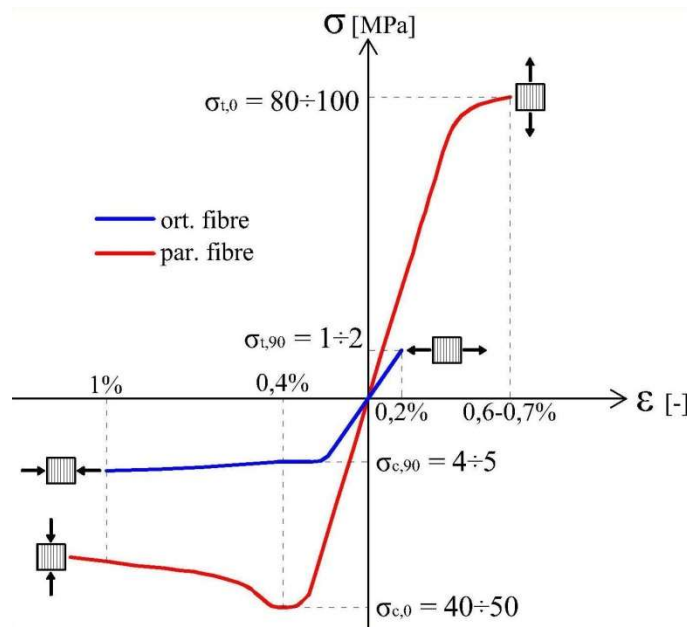


Fig. 2.3 Diagrammi σ - ϵ del legno netto

2.4.1. Resistenza a trazione

Il comportamento a trazione del legno è caratterizzata da una risposta tensione-deformazione di tipo *elasto-fragile*, con differenti valori del carico di rottura a seconda dell'inclinazione dello sforzo rispetto alle fibre: la tensione di rottura per sforzi paralleli alle fibre è di circa un ordine di grandezza maggiore rispetto alla trazione ortogonale.

La massima resistenza a trazione parallela alle fibre si aggira intorno a $\sigma_{t,0} = 80-100$ MPa, con deformazioni di circa 0,6-0,7%. Il modulo elastico è nell'ordine dei 10000-15000 MPa (simile a quello del calcestruzzo). Volendo fare un paragone diciamo che la resistenza è nell'ordine dell'acciaio (ma più bassa) mentre la deformabilità è nell'ordine di quella del calcestruzzo (ma minore).

La resistenza a trazione raggiunge i valori più elevati in virtù della composizione delle pareti cellulari, infatti le catene di cellulosa, unite a formare lunghi fasci di microfibrille, tendono a resistere allungandosi parallelamente all'asse cellulare, mentre la lignina (che rappresenta l'elemento debole) assume il compito di ostacolare il processo di trasmissione dell'energia di frattura da una fibra all'altra.

A livello anatomico si può osservare la rottura delle pareti delle cellule oppure la separazione delle pareti a livello di lamella mediana. Le fratture del primo tipo si possono osservare per lo più nel legno primaticcio (perché le pareti cellulari sono più sottili), mentre le rotture interlaminari sono più frequenti nel legno tardivo.

In ogni caso queste fratture si manifestano in modo fragile, dopo una breve deformazione plastica.

La resistenza a *trazione ortogonale* alle fibre è la più bassa tra tutte le resistenze del legno ($\sigma_{t,90} = 1-2$ MPa), mentre il modulo elastico si riduce ma non di molto.

Anche in questo caso la rottura si verifica a livello interlaminare oppure coinvolge le pareti cellulari, in entrambi i casi la rottura è di tipo fragile.

2.4.2. Resistenza a compressione

Anche la resistenza a compressione è influenzata dall'angolo di inclinazione dello sforzo sollecitante rispetto alla direzione delle fibre. I maggiori valori di resistenza a compressione si raggiungono per sollecitazioni *parallele alla fibratura* ($\sigma_{c,0} = 40-50$ MPa).

Il diagramma σ - ϵ presenta un tratto lineare a cui segue un considerevole ramo plastico rispetto alla trazione, con deformazioni anelastiche fino all'1%.

La modalità di collasso che si osserva per questo tipo di sollecitazione è riconducibile al collasso delle fibre, che a causa della loro forma allungata si instabilizzano ripiegandosi su se stesse.

La resistenza a *compressione ortogonale* alle fibre è un poco più elevata rispetto a quella a trazione ($\sigma_{c,90} = 4-5$ MPa). Il diagramma σ - ϵ , una volta raggiunto il suo picco massimo, presenta un tratto plastico abbastanza esteso questo perché in compressione ortogonale non si verifica una rottura vera e propria delle fibre ma si assiste ad un semplice schiacciamento, quindi in teoria potremmo avere valori di deformazione ultima infiniti. La resistenza a compressione $\sigma_{c,90}$ è una tensione di pseudo-

snervamento, e può convenzionalmente considerarsi come quella valutata in corrispondenza di una deformazione dell'1%.

La forma di collasso è associata allo schiacciamento laterale delle cellule legnose, che avviene per instabilità laterale delle pareti della cellula fino alla completa chiusura del lume cellulare.

L'analogia con il collasso di un tubo sollecitato a compressione laterale oppure assiale può aiutare a comprendere i diversi valori di resistenza che si osservano tra le due direzioni.

2.5. Resistenza per sollecitazioni inclinate rispetto alle fibre

La resistenza del legno è fortemente influenzata dall'inclinazione dello sforzo rispetto alla direzione della fibratura: la massima resistenza si esplica per sollecitazioni parallele alla direzione delle fibre, mentre la minima per sollecitazioni ortogonali alle fibre. In letteratura tecnica sono ripostati diversi criteri che permettono di determinare la resistenza del legno al variare dell'angolo di inclinazione dello sforzo. Il criterio più utilizzato per fare ciò è quello semiempirico di *Hankinson* valido per stati di sforzo monoassiali di trazione e compressione. Questo criterio, utilizzato anche dalle più recenti Normative, assume la seguente forma:

$$f_a \leq \frac{f_0}{\frac{f_0}{f_{90}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Essendo f_a la tensione normale, α l'angolo di inclinazione dello sforzo esterno rispetto alla direzione delle fibre, f_0 la tensione in direzione parallela alle fibre e f_{90} quella ortogonale.

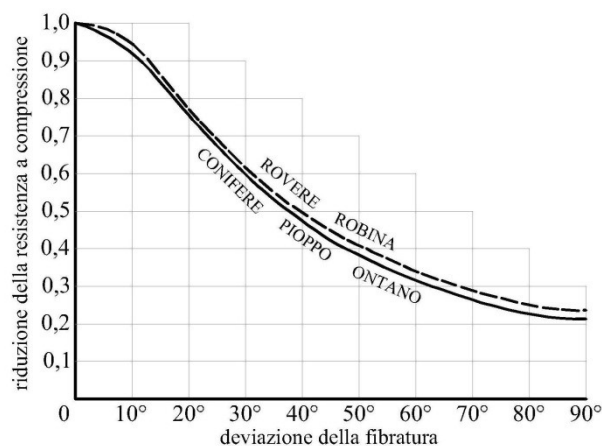


Fig. 2.4 Riduzione della resistenza a compressione al variare dell'angolo di inclinazione dello sforzo (criterio di Hankinson)

2.6. Resistenza a taglio del legno netto

Le modalità di rottura a taglio che si possono manifestare nel legno netto sono di tre tipi: taglio ortogonale, taglio parallelo e rolling shear.

Nel taglio ortogonale le fibre e quindi le cellule tendono ad essere sollecitate da forze ortogonali al loro asse; in genere questo tipo di rottura non si verifica perché viene preceduta dalla rottura, ad esempio, per schiacciamento delle fibre agli appoggi per compressione ortogonale.

Più frequente è la modalità di collasso per taglio parallelo alle fibre che determina uno slittamento tra le fibre parallelamente al loro asse longitudinale (a questa modalità di rottura si associa quella per flessione). Le normative non forniscono valori di resistenze distinte nei due casi sebbene sperimentalmente si osserva che nel primo caso la resistenza è di molto maggiore. Il rolling shear è una situazione associata a sollecitazioni taglianti agenti ortogonalmente alla direzione della fibratura, ma in un piano parallelo ad essa. Tale situazione determina una separazione delle fibre, approssimativamente, per rotazione di una sull'altra. Sebbene sia questa una situazione poco frequente, occorre notare che i valori di resistenza nei confronti di tale tipo di sollecitazione risultano inferiori a quelli assunti in caso di taglio parallelo o ortogonale.

2.7. Resistenza a trazione e compressione del legno strutturale

Nell'ambito delle strutture in legno è importante distinguere il comportamento del legno netto da quello del legno strutturale o in dimensioni d'uso.

Questa distinzione è ben nota nel modo anglosassone: *"timber is as different from wood as concrete is from cement"*.

Il legno strutturale è quello che deve essere messo in opera, ed essendo di dimensioni maggiori presenta una possibilità più elevata di presenza di difetti che influiscono negativamente sulla resistenza del materiale.

Come già spiegato nel capitolo precedente, i difetti sono delle singolarità morfologiche corrispondenti ad esigenze funzionali della pianta, che però determinano nel legno situazioni tecnologicamente indesiderate quali nodi, cipollature, legno di reazione, deviazione della fibratura. I provini di legno in dimensioni d'uso sul quale si eseguono le prove sono di circa 10-15 cm di lato, il doppio di quelli impiegati per il legno netto.

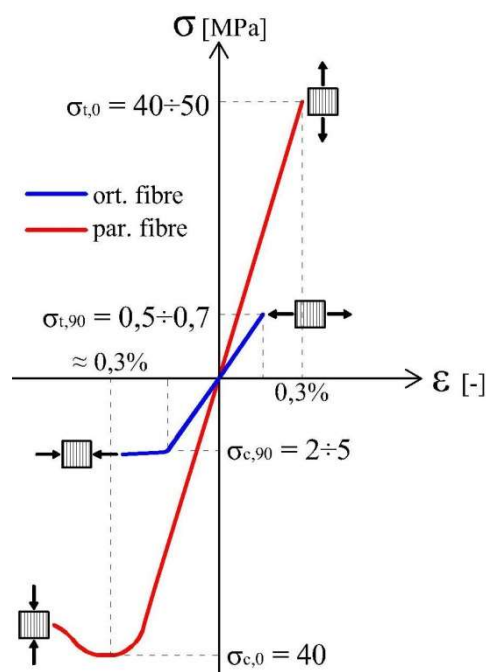


Fig. 2.5 Diagrammi σ - ϵ del legno strutturale

2.7.1. Resistenza a trazione

La resistenza a *trazione parallela* alle fibre del legno strutturale è circa la metà di quella del legno netto, ovvero $\sigma_{t,0} = 40\text{-}50$ MPa, e la corrispondente deformazione di rottura è intorno allo 0,3%.

Il principale difetto che influenza questa resistenza sono i nodi, in quanto provocano sia una riduzione della sezione resistente sia una deviazione della fibratura; quest'ultima induce l'insorgere di tensioni ortogonali alle fibre e quindi zone localmente meno resistenti.

La resistenza a *trazione ortogonale* alle fibre si riduce ancora di più rispetto al legno senza difetti ($\sigma_{t,90} = 0,5\text{-}0,7$ MPa). Nella determinazione di questo valore di resistenza entra in gioco il cosiddetto *effetto volume*: la resistenza varia al variare del volume del pezzo di legno considerato per la prova, quanto più esso è grande tanto più c'è probabilità di trovare un maggior numero di difetti. Pertanto il problema per determinare la $\sigma_{t,90}$ è di tipo statistico, analizzabile mediante la teoria di Weibull ma che per brevità qui non si riporta.

2.7.2. Resistenza a compressione

La resistenza a *compressione parallela* alla fibratura è poco influenzata dalla presenza di difetti, infatti un nodo in questo caso non provoca una riduzione di sezione ma solo la deviazione della fibratura che però può accentuare l'attivarsi dell'instabilità delle fibre.

Infatti, se nel caso del legno netto la resistenza a trazione parallela è circa il doppio di quella a compressione parallela, nel caso del legno strutturale queste due resistenze (a trazione e compressione) sono circa uguali tra di loro. La resistenza a compressione parallela alle fibre è circa $\sigma_{c,0} = 40$ MPa e la corrispondente deformazione è circa di 0,3%.

Anche nel caso di compressione ortogonale alle fibre i difetti sono poco influenti, la resistenza vale $\sigma_{c,90} = 2\text{-}5$ MPa (come per il legno netto).

2.8. Effetto della durata del carico sulla resistenza

La durata del carico ha un effetto rilevante sulla resistenza del legno, ciò è in diretta relazione con il comportamento reologico del materiale.

Questa è una particolarità del materiale legno, anche se non è una caratteristica esclusiva: basti pensare alla modalità con cui si è tenuto conto, in ambito normativo, all'influenza dei carichi di lunga durata sulla resistenza degli elementi in conglomerato cementizio. Anche nel caso del legno si tratta di un fenomeno riconducibile al comportamento viscoso del materiale (incremento di deformazione sotto carico costante).

Le Normative tengono conto dell'effetto combinato della durata del carico e dell'influenza dell'umidità attraverso alcuni coefficienti riduttivi dei valori di resistenza. Per esempio nel caso di azioni di permanenti (o di lunga durata) prevedono una riduzione di circa il 60% dei valori ricavabili da prove di laboratorio (dove i carichi sono di breve durata). Il fattore 0,6 deriva da prove sperimentali su piccoli campioni di legno netto effettuate negli anni 40-50 presso il Forest Products Laboratory di Madison (Wisconsin): la durata delle prove a flessione era di 7 anni, da cui fu proposta una relazione

tra tensioni di rottura a flessione e tempo (durata del carico) estrapolata in 10 anni. Tale relazione, chiamata *curva di Madison*, può essere approssimata ad un segmento di retta nel diagramma che riporta in ordinata il rapporto tra la tensione di rottura al generico tempo t e quella determinabile mediante prova istantanea, e in ascissa il logaritmo del tempo.

Inoltre, la curva di Madison ha dimostrato la sua validità anche per altri tipi di sollecitazioni, ed è stata quindi generalizzata per qualsiasi altro tipo di sollecitazione, anche per elementi in dimensioni d'uso.

Il comportamento reologico del legno sotto carico non influenza solamente le caratteristiche di resistenza, ma anche il comportamento deformativo della struttura lignea, dipende in notevole misura dalla viscosità del materiale.

Il legno è caratterizzato da deformazioni differite (creep), in altri termini un elemento sollecitato da azioni esterne costanti assume valori di deformazioni che progrediscono nel tempo. Tale fenomeno è correlato alla durata dell'azione, allo stato tensionale e alle variazioni igrometriche. Le deformazioni così cumulate sono solo in parte reversibili (deformazioni elastiche differite).

Le deformazioni differite sono particolarmente evidenti in presenza di sollecitazioni di flessione e taglio, che provocano nel tempo lo scorrimento visco-elastico delle fibre legnose, nonché nel caso di sollecitazioni ortogonali alla fibratura.

CAPITOLO 3

DESCRIZIONE DELLE MACCHINE DI PROVA

3.1. Introduzione

La campagna di prove sperimentali è stata svolta con cinque apparecchi di prova (Fig. 3.1). Per le prove a flessione ed a taglio è stata utilizzata la macchina della METROCOM (cod. identificativo 697L2025) di proprietà della G.R. Sistemi. Per le prove a compressione su legno è stata utilizzata una seconda macchina della METROCOM (cod. identificativo 10402020) di proprietà della G.R. Sistemi. Per le prove a instabilità è stata utilizzata una terza macchina dell'ITALSIGMA (cod. identificativo IT2002-016/125) di proprietà del Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II". Inoltre è stata utilizzata una quarta macchina di prova per le prove a compressione sul calcestruzzo della MATEST (cod. identificativo C088*1*04) di proprietà del Dipartimento di strutture per l'Ingegneria e l'Architettura dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II". Infine è stata utilizzata per una prova a flessione su un pannello porepan il "Vitone di Pressione". Mentre per le prove a trazione è stata utilizzata la macchina universale MTS810, mentre per le prove su pareti con forze orizzontali, di tipo monotone, è stata utilizzata una terza macchina, unione di più attrezzature. Queste ultime due sono entrambe di proprietà del Dipartimento di strutture per l'Ingegneria e l'architettura dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II".





Fig. 3.1 Macchine di prova

Nelle prossime pagine vengono descritte brevemente ogni singola macchina di prova utilizzata.

3.2. Macchina per prove a flessione “METROCOM”

La macchina risulta costituita da una traversa d'appoggio inferiore adatta a ricevere elementi lunghi fino a 6000 mm sugli appoggi: su questa traversa possono essere posizionati in modo simmetrico rispetto al centro due supporti. Il posizionamento dei supporti avviene manualmente (Fig. 3.2). Nella parte centrale della macchina si trova un telaio di contrasto con dimensione verticale adatto a ricevere elementi in prova di sezione massima 400x400 mm. La macchina di prova ha una traversa rigida incernierata all'attuatore, sulla quale è possibile posizionare due coltelli di carico a distanza variabile. Il carico massimo complessivo applicabile è di 250 kN (circa 25 tonnellate). La macchina è altresì corredata di un trasduttore elettronico (LVDT) della freccia con altissima risoluzione (Fig. 3.2).



Fig. 3.2 Macchina per prove a flessione e trasduttore elettronico

3.3. Macchina per prove a compressione su legno “METROCOM”

La macchina è del tipo illustrato in Figura 3.3. Il carico massimo è di 200 kN e la velocità di prova è regolabile da 0,05 a 200 mm/min. Nel basamento sono collocati i componenti relativi alla motorizzazione della macchina stessa, mentre i componenti elettronici atti al suo controllo si trovano all'interno dell'armadio di comando.

I comandi della macchina sono posizionati su una pulsantiera mobile collocata sul montante sinistro della macchina stessa. Sul lato posteriore del basamento della macchina sono presenti i cavi provenienti dai trasduttori montati a bordo macchina, da collegare ai rispettivi connettori del modulo elettronico di condizionamento dei segnali.



Fig. 3.3 Macchina per prove a compressione su legno

3.4. Macchina universale “ITALSIGMA”

La macchina in esame si trova nel laboratorio di prove meccaniche del DI.ST. Essa è situata sul piastrone “grigio” destinato a prove dinamiche. Tale macchina consente la realizzazione di prove in trazione, compressione e flessione su provini di altezza compresa tra 50 e 400 cm. Il telaio di prova è costituito da: un basamento rigido in acciaio (100x400 cm), dotato di scanalature a “T” per il fissaggio delle attrezzature di prova e di vincolo dei provini, da quattro colonne poste ai vertici del rettangolo di base e da una traversa mobile, che scorre lungo le quattro colonne (Fig. 3.4). Sulla traversa è montato un attuatore che permette di condurre prove in controllo di spostamento (corsa max ± 75 mm) o di forza (carico max in compressione 3000 kN; carico max in trazione 2400 kN).

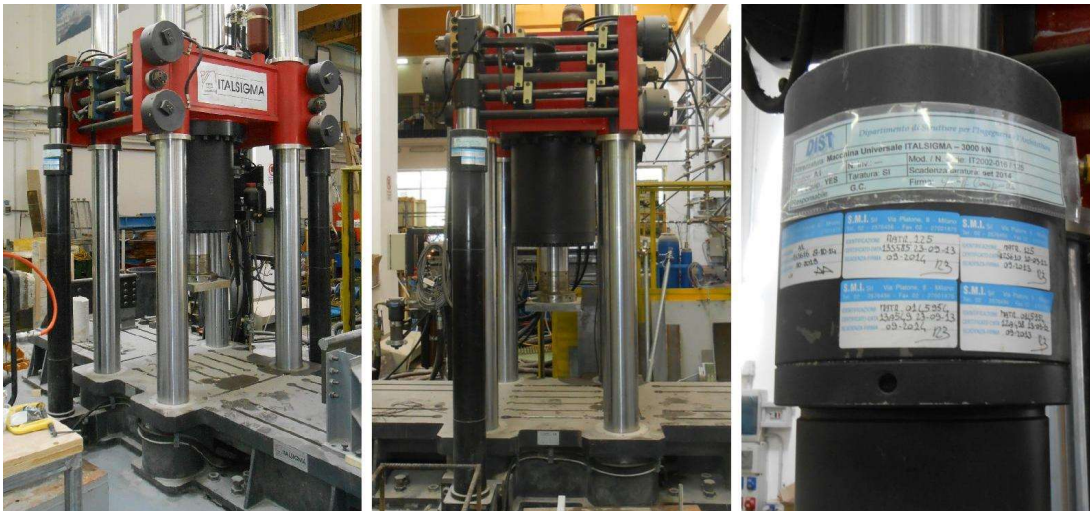


Fig. 3.4 Macchina per prove a instabilità

3.5. Macchina per prove a compressione su calcestruzzo “MATEST”

La macchina in esame si trova nel laboratorio di prove meccaniche del DI.ST. Essa è situata sul piastrone “rosso” destinato a prove statiche. Tale macchina consente la realizzazione di prove in compressione su provini di altezza compresa tra 10 e 30 cm. Essa è composta da un telaio di carico sovradimensionato per garantire un’elevata rigidità. Inoltre la macchina ha in dotazione dei piatti di irrigidimento per garantire la diffusione del carico in modo uniforme (Fig. 3.5). La macchina permette di effettuare prove in compressione in controllo di forza fino ad un carico massimo di 3000 kN (circa 300 tonnellate).



Fig. 3.5 Macchina per prove a compressione su provini in cls

3.6 Vitone di pressione

Il “vitone” è stato progettato dal gruppo di ricerca del Prof. Calderoni appositamente per eseguire queste prove sperimentali. Realizzato dall’officina “Faggio”, si tratta di un banco di prova metallico che permette di realizzare prove di compressione semplice, flessione e taglio su provini alti fino a 70 cm e lunghi fino a circa 2 metri. La macchina è costituita da un banco metallico dello spessore 15 mm saldata su di un graticcio di travi in acciaio (sul perimetro sono dei profili UPN 200 e al centro profili IPE 200) sostenuto da quattro colonne metalliche fissate a terra mediante bulloni. La piastra del banco di prova, dalle dimensioni in pianta di 1700x830 mm, è stata opportunamente dotata di fori calibrati (per bulloni M14) con passo in senso longitudinale di 10 mm e in senso trasversale di 25 mm, al fine di poter disporre gli appoggi per le prove di flessione alle distanze di volta in volta desiderate. Sul banco di prova è stato realizzato un telaio di contrasto, con traversa mobile, che permette di applicare il carico verticale mediante azionamento manuale. In particolare le colonne di sostegno alla traversa sono dei profili HE 140B, mentre la traversa è costituita da due profili UPN 220 accoppiati. Inoltre le quattro colonne del telaio sono collegate in senso trasversale da profili HE 120B. Il telaio è realizzato con elementi di notevole rigidità, cosicché eventuali effetti flessionali derivanti da irregolarità del provino o di applicazione del carico, possono ripartirsi tra quest’ultimo e il telaio come un unico complesso telaio-provino: in una macchina con rigidità tale che possa ritenersi trascurabile quella del provino, gran parte dell’azione flettente viene assorbita dal telaio; il contrario avviene per macchine flessibili (Franciosi, 1965).

Sulla traversa è montato l’attuatore costituito da un elemento metallico filettato con passo 2 mm e con diametro di 50 mm (vitone) sulla cui sommità è montato un braccio metallico che permette di applicare il carico mediante rotazione manuale. La macchina consente di eseguire prove in controllo di forza fino ad un carico massimo di circa 200 kN o in controllo di spostamento fino ad una corsa massima di ± 70 cm. Il carico massimo applicabile è stato da noi deciso in funzione delle prove da effettuare. Superando questo valore iniziano a manifestarsi notevoli deformazioni flessionali della traversa mobile che inficiano il risultato finale della prova. Anche la traversa è stata predisposta di fori calibrati (per bulloni M12) che consentono di spostare il vitone in orizzontale; questo permette di adattare la macchina anche a tipi di prove più particolari. Infine, la testa del vitone è dotata di una cerniera cilindrica che permette di mantenere sempre il carico centrato durante la prova.

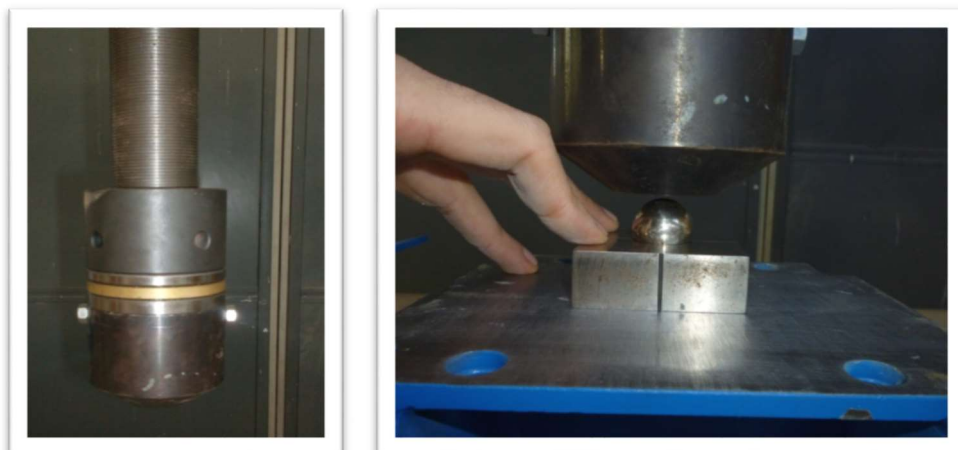


Fig. 3.6 Cerniera cilindrica

Di seguito si riportano piante e sezione del vitone di pressione.

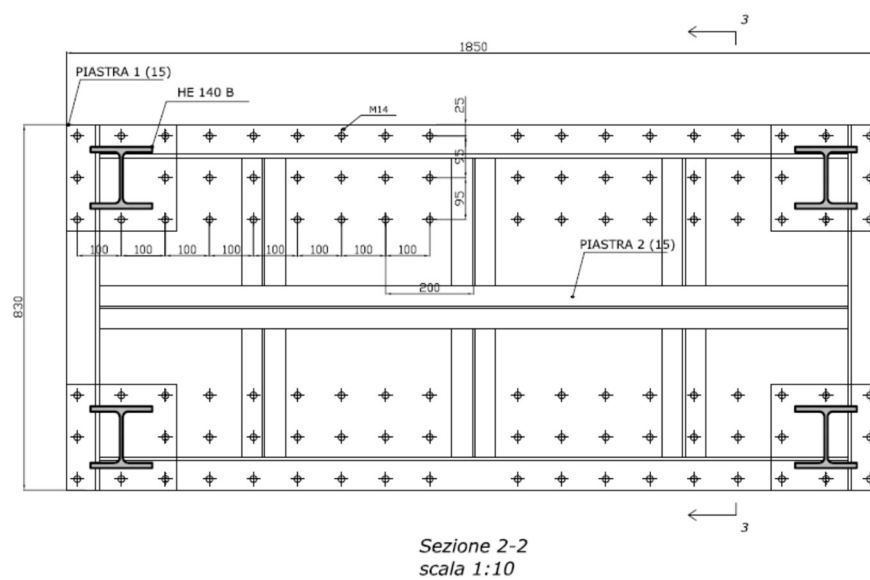
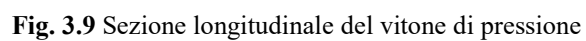
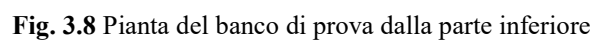


Fig. 3.7 Pianta del banco di prova



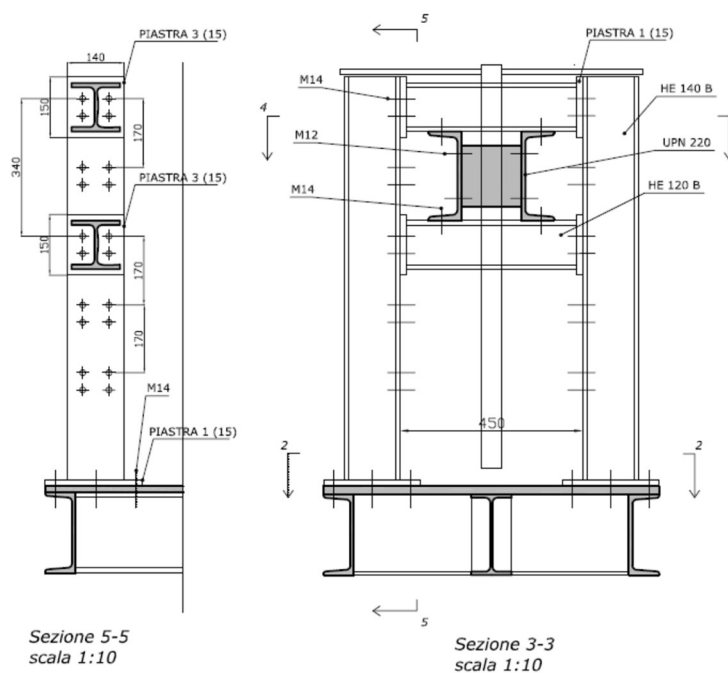


Fig. 4.10 Sezione trasversale del vitone di pressione

Al di sotto della cerniera sferica viene posizionata la cella di carico che registra il carico all'incrementare dello spostamento dell'attuatore verticale.

La macchina di prova, inoltre, può essere collegata ad un dispositivo di acquisizione dati (centralina spider 8) in grado di registrare i segnali provenienti dalla cella di carico e dai misuratori di spostamento, per poi elaborarli in dati disponibili in modalità excel.

Appoggi e coltello di carico

Gli appoggi utilizzati per le prove effettuate con il "Vitone di pressione" sono stati da noi progettati e fatti realizzare appositamente. Affinchè nella prova l'appoggio sia di tipo puntuale, sono stati fatti saldare, alla sommità delle piastre che costituiscono l'appoggio, delle barre lisce $\Phi 30$. L'appoggio è così costituito:

- Barra $\Phi 30$ in sommità;
- Due piastre di acciaio, spessore 5 mm, inclinate l'una verso l'altra a formare un triangolo per ottenere l'altezza necessaria per l'inflessione del provino;
- Piastra di base, spessore 5 mm, forata per il fissaggio al banco di prova del vitone di pressione.

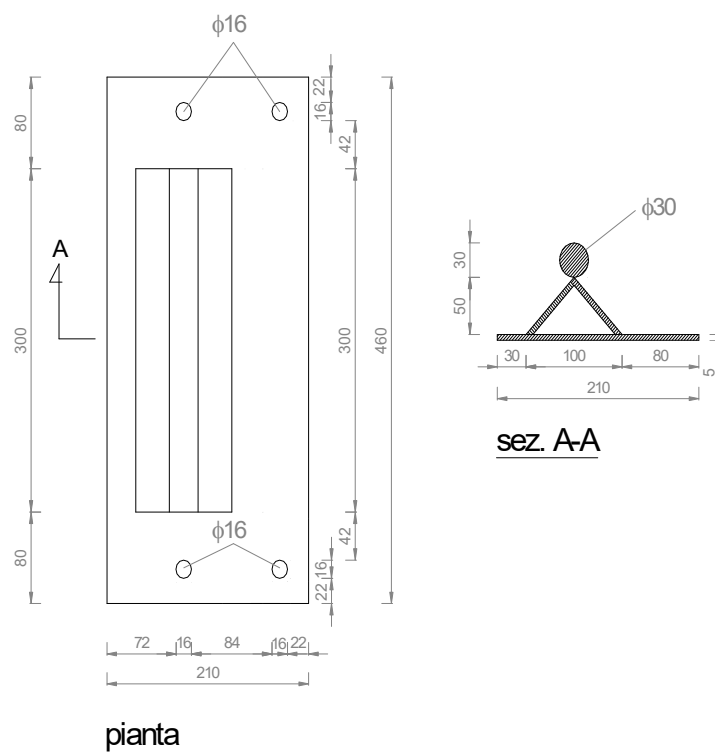


Fig. 3.11 Progetto appoggi



Fig. 3.12 Appoggi

3.7. Macchina per prove a trazione “MTS810”

La macchina universale MTS810 è illustrata in Fig.3.3 e consente l'esecuzione di prove in trazione, compressione e cicliche su provini di altezza max pari a 1,4 metri, in controllo di forza (carico max +/- 500 kN) o di spostamento (corsa max +/- 75 mm). Il telaio di prova è costituito da un basamento rigido in acciaio e da due colonne, fissate nel basamento, lungo le quali può scorrere una traversa mobile. Dal basamento fuoriesce la parte mobile dell'attuatore, mentre alla traversa risultano solidali la testa fissa e la cella di carico della macchina. Le teste sono dotate di morsetti d'acciaio opportunamente sagomati per garantire l'afferraggio dei provini, ad una pressione max di 70 MPa, grazie alla presenza di un circuito oleodinamico di alimentazione supplementare.



Fig. 3.13 Macchina per prove a trazione su barre di acciaio

3.8. Macchina per prove su pareti con forze orizzontali di tipo monotone

La macchina in esame si trova nel laboratorio di prove meccaniche del DI.ST. Essa è costituita dalle seguenti attrezzature:

- Telaio di contrasto in acciaio;
- Attuatore MTS serie 243;

Si riporta di seguito un'immagine del sistema completo per poi analizzare ogni attrezzatura che la compone singolarmente.



Fig. 3.14 Attrezzature per prove con carico orizzontale

Telaio di contrasto in acciaio

Il telaio in esame è un sistema di contrasto costituito da un telaio rigido in acciaio, tipicamente utilizzato per prove a flessione su due, tre o quattro punti, di elementi monodimensionali di grosse dimensioni.



Fig. 3.15 Telaio di contrasto in acciaio per prove su parete

Attuatore MTS serie 243

La macchina in esame è l'Attuatore MTS serie 243. Consente l'esecuzione di prove in trazione, compressione e cicliche, in controllo di forza (carico max in compressione 500 kN, carico max in trazione 290 kN) o di spostamento (corsa max +/- 250 mm).



Fig. 3.16 Attuatore MTS serie 243 per prove su parete

CAPITOLO 4

BREVE ANALISI DELLO STATO DELL'ARTE DEI PANNELLI IN LEGNO MASSICCIO

4.1 Introduzione

L'analisi dello stato dell'arte serve a comprendere il livello di conoscenza raggiunto in un determinato ambito scientifico. Nel nostro caso, lo scopo è analizzare i risultati ottenuti da studi e da prove sperimentali effettuate da altri Enti per un confronto costruttivo, ma anche per avere un approccio più ampio e completo alle varie problematiche che si presentano soprattutto nel campo della sperimentazione. In questo capitolo vengono prese in esame le prove su pannelli di legno massiccio (simili a quelli testati in questa campagna) costituiti da doppio tavolato con interposto isolante termico EPS effettuate dal Laboratorio dell'Università degli Studi della Basilicata.

4.2 Risultati delle prove sperimentali

4.2.1 Introduzione

Sono state analizzate le prove su pannelli di legno massiccio coibentato effettuate dal laboratorio del DiSGG (Dipartimento di Strutture, Geotecnica, Geologia applicata all'Ingegneria) presso l'Università degli Studi della Basilicata di Potenza, commissionate dalla ditta produttrice "G.R. Sistemi s.a.s. Stabilimento zona industriale Tito Scalo -PZ-". Le prove sono state effettuate nel mese di aprile del 2002.

4.2.2 Descrizione dei provini

Le prove sono state effettuate su Pannelli termoisolanti in legno – Porepan 80/A, brevettati dalla GR Sistemi. Si tratta di pannelli portanti ad elevato isolamento termico per coperture e pareti, costituiti da doppio tavolato con interposto isolante termico in polistirene espanso monostrato.

I pannelli hanno lunghezza mm 4000, larghezza mm 200 e spessore mm 80-100.

Analizzando la composizione, ogni pannello è costituito da:

- Strato superiore:
tavola in legno massello di Abete bianco di I scelta o Larice dello spessore di mm 20;
- Strato coibente:
polistirene espanso sinterizzato (EPS) dello spessore di mm 40 conforme alla norma UNI 7819;
- Strato inferiore:
tavola in legno massello di Abete bianco di I scelta o Larice dello spessore di mm 20;

Il pannello, oltre ad essere stato sottoposto a prove di resistenza presso il “Laboratorio Prove Materiali e Strutture” dell’Università degli Studi della Basilicata, è stato studiato per analizzare il suo comportamento termo-igrometrico in condizioni di esercizio con relativa verifica dei valori ottenuti. Gli

strati di legno con interposto il polistirene espanso sinterizzato costituiscono un prodotto altamente isolante che grazie alla sua particolare versatilità lo rende idoneo sia negli interventi di ristrutturazione che nelle nuove costruzioni. La produzione del pannello avviene in maniera prefabbricata all’interno dello stabilimento e con macchine a controllo numerico; l’incollaggio degli strati viene eseguito con colle poliuretaniche rispondenti alla norma ISO 14001.

Si riportano, infine le caratteristiche statiche:

Spessore totale pannello 80	mm			
Carichi massimi ammissibili al limite della freccia ammissibile di 1/300				
Interasse appoggi in cm	80	100	133	200
Q (carico max) kg/ mq	681	532	456	235

Le prove, dunque, sono state effettuate su:

- n. 3 pannelli in Abete - polistirolo estruso - Abete
- n. 3 pannelli in Abete - polistirolo estruso - Larice
- n. 3 pannelli in Larice - polistirolo estruso – Larice.

4.2.3 Strumentazione di prova

Le prove di caratterizzazione meccanica dei pannelli sono state eseguite con una strumentazione di prova costituita da:

- Pressa Universale computerizzata tipo METROCOM per prove a flessione – portata max 1000 kN , corsa max 500 mm;
- Centralina di acquisizione dati digitale da 16 canali tipo LEANE;
- N. 1 trasduttore potenziometrico di spostamento tipo LEANE da ± 125 mm;

- N. 4 trasduttori potenziometrici di spostamento tipo LEANE da ± 50 mm;
- Cella di carico tipo METROCOM con fonda scala ± 20 kN.

Lo schema di carico è quello riportato nella figura seguente:

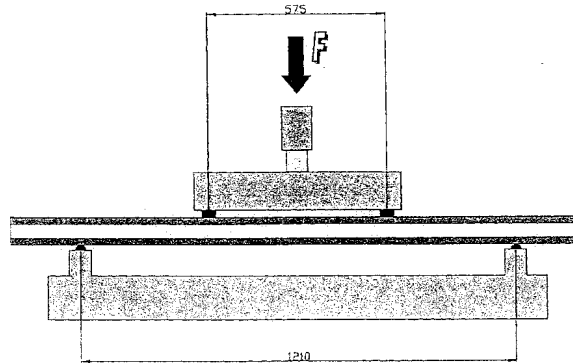


Fig. 4.1 Schema macchina di prova

Durante le prove il carico è stato incrementato gradualmente con la velocità di circa 0,3 kN/s.

4.2.4 Risultati sperimentali

Di seguito si riportano le schede relative alle prove effettuate su ogni singolo pannello.

4.2.4.1 Pannello Abete – Abete n.1

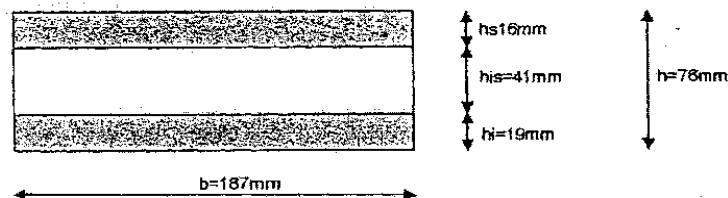


Fig. 4.2 Dimensioni pannello Abete-Abete n.1

Il pannello oggetto della prova è il primo dei tre campioni costituito da due strati di Abete di I scelta con interposto polistirolo estruso. L'altezza totale del pannello è di 76 mm, mentre la base misura 187 mm. Lo strato superiore di Abete è spesso 16 mm, lo strato coibente 41 mm, mentre lo strato inferiore di Abete ha uno spessore pari 19mm.

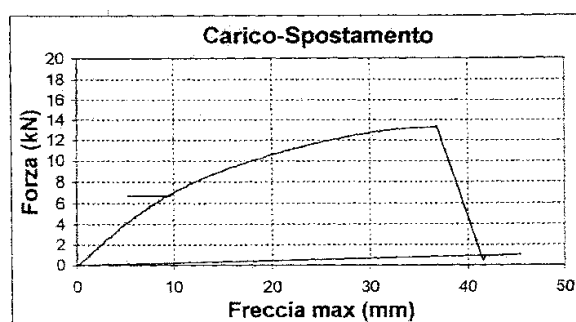


Fig. 4.3 Grafico F- Δ pannello Abete-Abete n.1

Durante la prova, la forza è stata incrementata con una velocità costante. Il pannello presenta una risposta caratterizzata da un primo ramo elastico lineare fino a un valore della forza pari a 6,96 kN a cui corrisponde uno spostamento di limite di 9,78 mm. La pendenza del tratto lineare ossia il modulo elastico E (rigidezza elastica tangente) è pari a 890 MPa. Il valore massimo attinto della forza è di 13,336 kN. La rottura del pannello si ha in corrispondenza di un valore della forza pari a 13,29 kN e di uno spostamento di 36,9 mm.

Nella tabella si riportano schematicamente tutti i dati sopra citati; in più sono presenti i valori del momento flettente al limite elastico lineare, quello massimo e quello di rottura.

Pannello	Abete - Abete
Prova n.	1
F_{el} (kN)	6,96
δ_{el} (mm)	9,78
E (MPa)	890
F_{max} (kN)	13,326
F_u (kN)	13,29
δ_u (mm)	36,9
M_{el} (kNm)	1,1049
M_{max} (kNm)	2,1155
M_u (kNm)	2,1098

Tab. 4.1 Pannello Abete-Abete n.1

4.2.4.2 Pannello Abete – Abete n.2

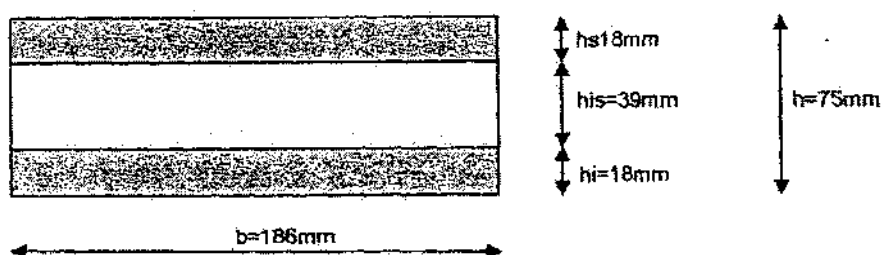


Fig. 4.4 Dimensioni pannello Abete-Abete n.2

Il secondo dei tre campioni costituito da due strati di Abete di I scelta con interposto polistirolo estruso ha delle dimensioni leggermente differenti dal primo. L'altezza totale del pannello è di 75 mm, mentre gli strati di Abete misurano entrambi 18mm. La base del pannello è di 186 mm. Anche in questo caso l'incollaggio degli strati viene eseguito con colle poliuretaniche rispondenti alla norma ISO 14001.

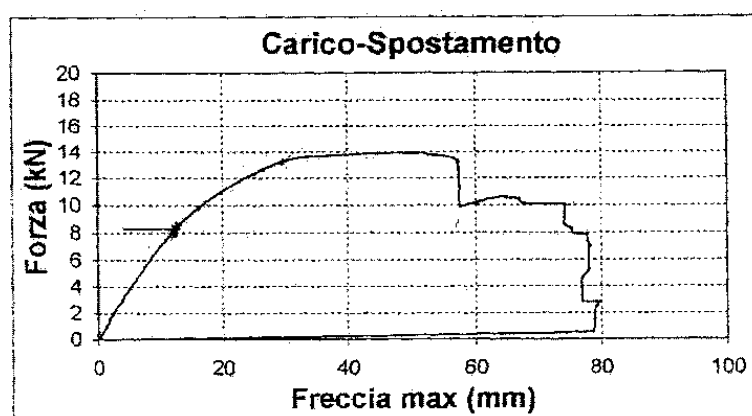


Fig. 4.5 Grafico F-Δ pannello Abete-Abete n.2

Rispetto al primo provino, l'andamento del grafico, dopo il raggiungimento del valore massimo della forza, si presenta molto più articolato. Probabilmente ciò è dovuto a rotture del pannello in alcune zone che però permettono ancora di assorbire un certo sforzo, seppur minore. Dal grafico si evince che il tratto elastico lineare termina con il raggiungimento di un valore di forza pari a 8,47 kN a cui corrisponde uno spostamento di 13,08 mm. La forza massima sopportabile dal pannello è di 13,995 kN, mentre la rottura si raggiunge con un valore della forza di 10,02 kN arrivando ad uno spostamento di 74,27 mm.

Per quanto riguarda i valori del momento flettente, quello sopportabile al limite elastico al limite elastico è 1,34 kNm, mentre quello massimo è pari a 2,22 kNm. La rottura si ha in corrispondenza di un valore di 1,59 kNm. Di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei risultati ottenuti.

Pannello	Abete - Abete
Prova n.	2
F_{el} (kN)	8,47
δ_{el} (mm)	13,08
E (MPa)	840
F_{max} (kN)	13,995
F_u (kN)	10,02
δ_u (mm)	74,27
M_{el} (kNm)	1,3446
M_{max} (kNm)	2,2217
M_u (kNm)	1,5907

Tab. 4.2 Pannello Abete – Abete n.2

4.2.4.3 Pannello Abete – Abete n.3

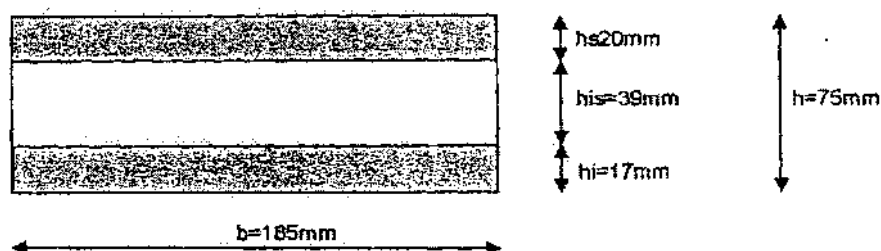


Fig. 4.6 Dimensioni pannello Abete-Abete n.3

L'ultimo testato per questa tipologia è il terzo pannello Abete - Polistirolo estruso – Abete terminano. Le dimensioni del provino variano di poco: con una base di 185 mm e un'altezza totale di 75 mm, il pannello è costituito dai due strati di Abete di spessore 20 (superiore) e 17 mm (inferiore) con in mezzo 39 mm di materiale coibente.

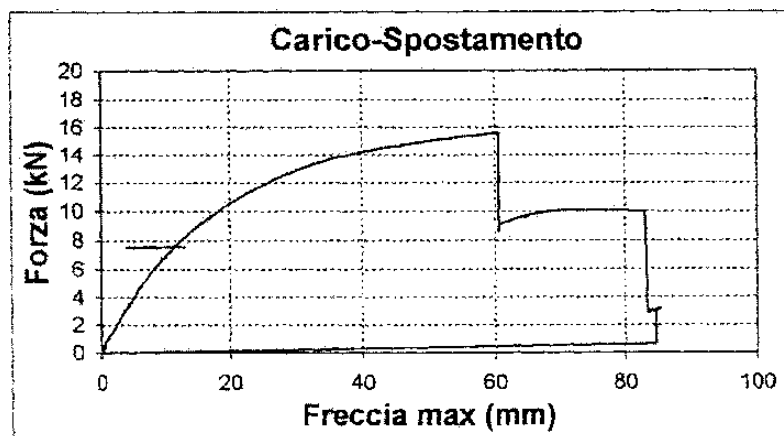


Fig. 4.7 Grafico F- Δ pannello Abete-Abete n.3

Il grafico corrispondente a questa prova ha un'andamento intermedio tra la prima e la seconda prova. La risposta elastica lineare termina con un valore della forza pari a 7,7 kN a cui corrisponde uno spostamento di 12,09 mm. Si registra, quindi, un modulo di elasticità tangente (E) di 1110 MPa, il più alto tra le tre prove su questo tipo di pannello. Il provino resiste ad una forza massima di 15,585 kN e successivamente si perviene a rottura con un valore di forza di 10,02 kN e uno spostamento di 83,03 mm. Nella tabella riportata di seguito, sono presenti anche i valori del momento flettente sopportabili dal pannello che, al limite elastico, è pari a 1,22 kNm. Al termine dell'analisi di tutte le nove prove su questi pannelli in legno massiccio coibentato è stata riportata una ulteriore tabella in cui si evidenzia il comportamento medio dei pannelli di questo tipo (Abete - polistirolo estruso – Abete) attraverso i valori medi di questi termini finora elencati.

Pannello	Abete - Abete
Prova n.	3
F_{el} (kN)	7,7
δ_{el} (mm)	12,09
E (MPa)	1110
F_{max} (kN)	15,585
F_u (kN)	10,02
δ_u (mm)	83,03
M_{el} (kNm)	1,2224
M_{max} (kNm)	2,4741
M_u (kNm)	1,5907

Tab. 4.3 Pannello abete-abete n. 3

4.2.4.4 Pannello Abete – Larice n.1

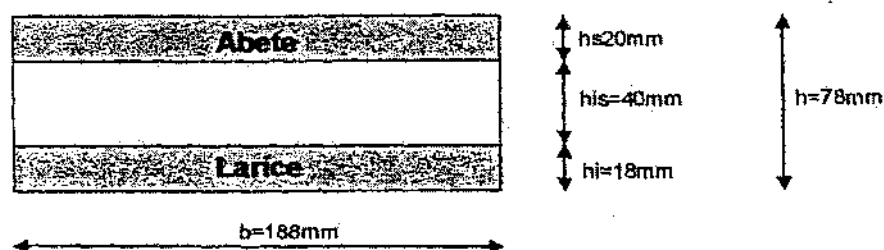


Fig. 4.8 Dimensioni pannello Abete- Larice n.1

Il pannello oggetto del secondo gruppo di prove presenta una composizione diversa dai precedenti: questa volta il polistirolo estruso è interposto tra uno strato di Abete di I scelta e uno di Larice. Come è noto il Larice presenta migliori caratteristiche meccaniche rispetto all'Abete e quindi ci si aspetta di

registrare forze sopportabili di intensità maggiore. Entrando nello specifico di questa prima prova, il pannello ha una base di 188 mm e un'altezza totale di 78 mm. Lo spessore dello strato di abete collocato superiormente è di 20 mm mentre il Larice è spesso 18 mm.

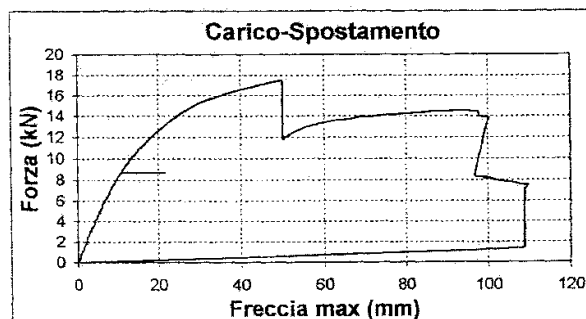


Fig. 4.9 Grafico F-Δ pannello Abete-Larice n.1

Come si nota chiaramente dal grafico, dopo un primo tratto ascendente al termine del quale si raggiunge la forza massima (17,491 kN), si ha una brusca caduta in termini di forza, dopodiché il pannello continua a resistere, seppure ad una forza minore, fino ad uno spostamento ultimo (o di rottura) di 100,4 mm in luogo di uno spostamento corrispondente alla forza massima di circa 50 mm. Si precisa, infine, che il tratto lineare elastico termina al raggiungimento di una forza pari 8,96 kN con uno spostamento di 11,24 mm. Il modulo di elasticità normale E risulta essere pari 960 MPa. In termini di momento flettente, il valore massimo è 2.7767 kN. La tabella seguente sintetizza e raccoglie i dati sperimentali ottenuti spiegati finora.

Pannello	Abete - Larice
Prova n.	1
F_{el} (kN)	8,96
δ_{el} (mm)	11,24
E (MPa)	960
F_{max} (kN)	17,491
F_u (kN)	13,87
δ_u (mm)	100,4
M_{el} (kNm)	1,4224
M_{max} (kNm)	2,7767
M_u (kNm)	2,2019

Tab. 4.4 Pannello abete-larice n. 1

4.2.4.5 Pannello Abete – Larice n.2

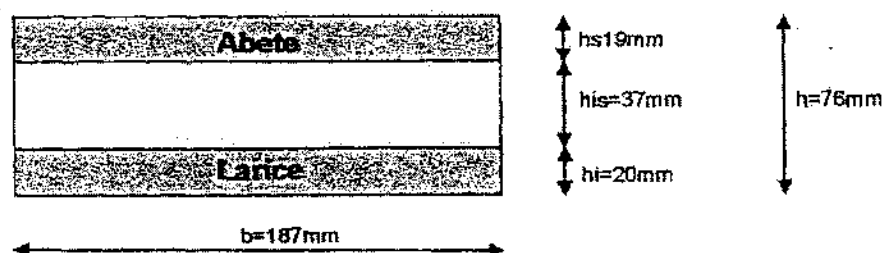


Fig. 4.10 Dimensioni pannello Abete-Larice n.2

Il secondo pannello presenta uno spessore dello strato di Abete sovrastante di 19 mm, il coibente di 37 mm e infine lo strato di Larice di 20 mm per un'altezza totale del provino di 76 mm su una base di 187 mm.

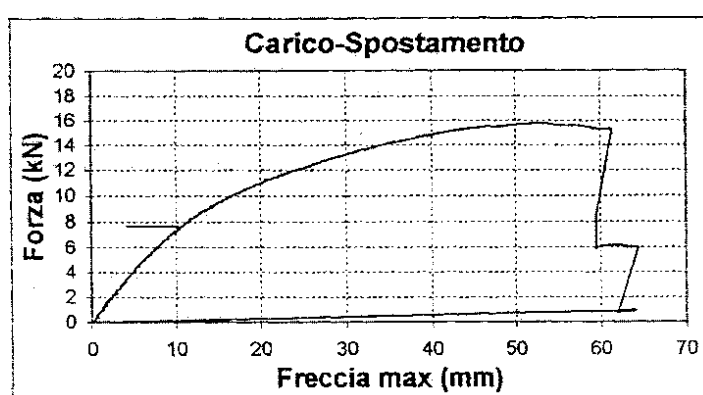


Fig. 4.11 Grafico F- Δ pannello Abete-Larice n.2

Questa prova ha come risultato un diagramma dal quale si evince che raggiunto il valore massimo della forza (15,82 kN), il pannello non presenta ulteriore capacità di resistenza: infatti lo scarto forza massima e relativo spostamento e forza di rottura e relativo spostamento è infinitesimo. Ciò si riflette anche nei momenti flettenti: partendo infatti da un valore al limite elastico di 1,2462 kN, si ha un momento massimo di 2,51 kNm a cui segue un momento di rottura di 2,42 kNm.

Pannello	Abete - Larice
Prova n.	2
F_{el} (kN)	7,85
δ_{el} (mm)	10,87
E (MPa)	890
F_{max} (kN)	15,817
F_u (kN)	15,24
δ_u (mm)	61,39
M_{el} (kNm)	1,2462

M_{\max} (kNm)	2,5109
M_u (kNm)	2,4194

Tab. 4.5 Pannello abete-larice n. 2

4.2.4.6 Pannello Abete – Larice n.3

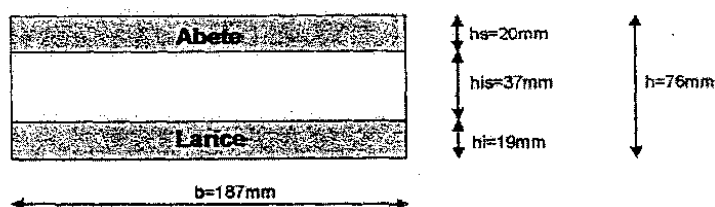


Fig. 4.12 Dimensioni pannello Abete-Larice n.3

Rispetto al campione della seconda prova si invertono gli spessori dei due strati di legno e l'Abete dello strato superiore è di 20 mm, mentre il Larice sottostante di 19 mm. La base rimane di 187 mm.

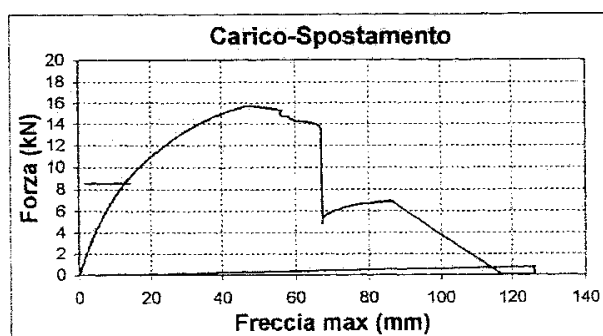


Fig.4.13 Grafico F-Δ pannello Abete-Larice n.3

In questa prova si registra uno spostamento corrispondente alla forza al limite elastico lineare leggermente più grande rispetto alle prime due prove e pari a 13,12 mm. Dopo il tratto principale ascendente si registra la solita brusca caduta dopo la quale il pannello cerca di riprendersi ma sviluppa una capacità resistente residua troppo bassa da doversi ritenere trascurabile. Si ha, quindi, una forza massima assimilabile di 15,759 kN a cui segue immediatamente una forza di rottura di 13,56 kN con uno spostamento relativo (tra massimo e ultimo) di pochi millimetri.

Pannello	Abete - Larice
Prova n.	3
F_{el} (kN)	8,7
δ_{el} (mm)	13,12
E (MPa)	950

F_{\max} (kN)	15,759
F_u (kN)	13,56
δ_u (mm)	67,01
M_{el} (kNm)	1,3811
M_{\max} (kNm)	2,5017
M_u (kNm)	2,1527

Tab. 4.6 Pannello abete-larice n. 3

4.2.4.7 Pannello Larice – Larice n.1

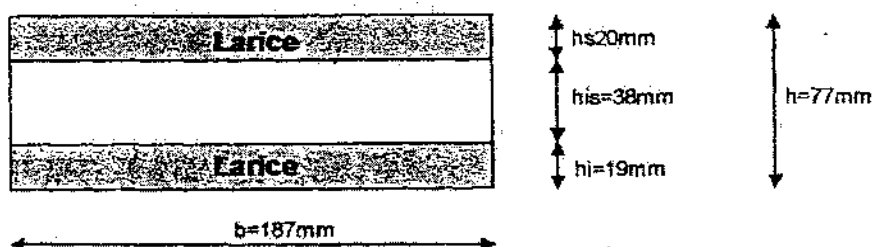


Fig. 4.14 Dimensioni pannello Larice-Larice n.1

Il terzo gruppo di prove è stato effettuato su pannelli costituiti da due strati di Larice con interposto lo strato di polistirolo estruso.

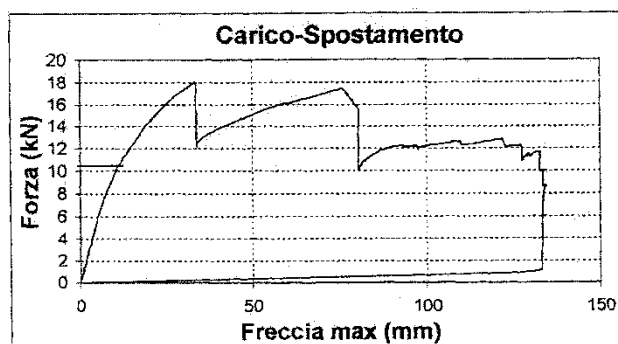


Fig. 4.15 Grafico F-Δ pannello Larice-Larice n.1

Dopo un primo tratto lineare si attinge il valore massimo della forza sopportabile dal provino pari a 18,04 kNm. Si assiste successivamente ad una caduta improvvisa di tensione, dopo la quale il pannello riesce ad sviluppare ulteriore resistenza riuscendo a sopportare forze molto vicine alla forza massima. Dopo una seconda caduta il provino si rompe sotto l'azione di una forza di 11,65 kN e spostamento

ultimo di 132,8 mm. Quest'ultimo valore risulta essere molto più alto dei corrispettivi riferiti ai pannelli degli altri due tipi.

Pannello	Larice - Larice
Prova n.	1
F_{el} (kN)	10,74
δ_{el} (mm)	12,07
E (MPa)	950
F_{max} (kN)	18,036
F_u (kN)	11,65
δ_u (mm)	132,8
M_{el} (kNm)	1,705
M_{max} (kNm)	2,8632
M_u (kNm)	1,8494

Tab. 4.7 Pannello larice-larice n. 1

4.2.4.8 Pannello Larice – Larice n.2

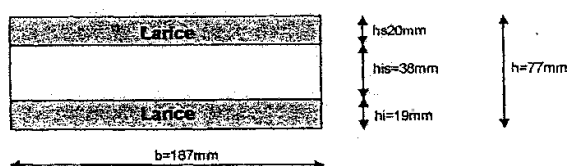


Fig. 4.16 Dimensioni pannello Larice-Larice n.2

Il secondo pannello mantiene le identiche dimensioni del provino precedente.

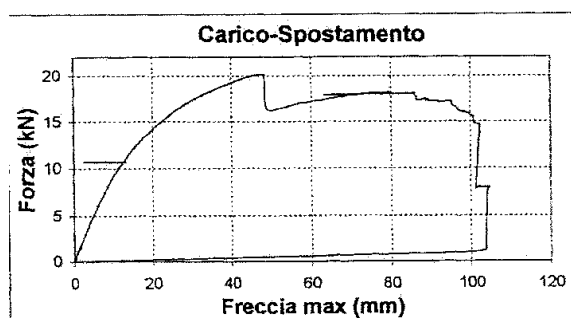


Fig. 4.17 Grafico F- Δ pannello Larice-Larice n.2

A differenza del precedente grafico la prima caduta non è molto forte, mentre si nota che la rottura è abbastanza netta e dopo non si hanno ulteriori resistenze da poter sfruttare.

Pannello	Larice - Larice
Prova n.	2
F_{el} (kN)	11,04
δ_{el} (mm)	13,07
E (MPa)	1090
F_{max} (kN)	20,187
F_u (kN)	14,67
δ_u (mm)	102,3
M_{el} (kNm)	1,7526
M_{max} (kNm)	3,2047
M_u (kNm)	2,3289

Tab. 4.8 Pannello larice-larice n. 2

4.2.4.9 Pannello Larice – Larice n.3

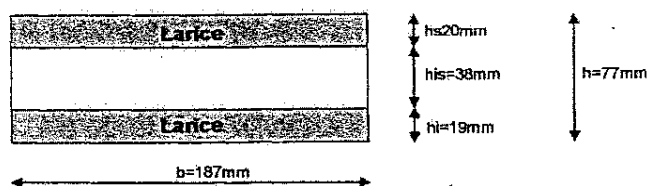


Fig. 4.18 Dimensioni pannello Larice-Larice n.3

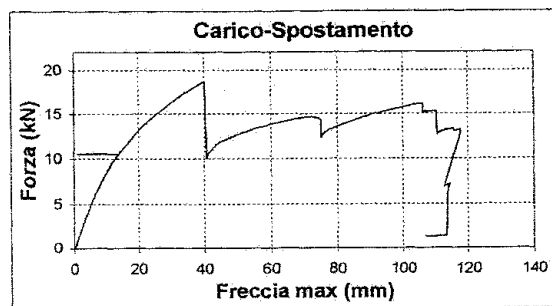


Fig. 4.19 Grafico F- Δ pannello Larice-Larice n.3

Da questa terza ed ultima prova si nota un comportamento intermedio del pannello tra le prime due prove. Come valori al limite elastico lineare si registra una forza di 10,77 kN con uno spostamento di 14,52 mm e un modulo di elasticità tangente di 940 MPa. La forza massima è di 18,69 KN , il momento massimo di 2,967 KNm.

Pannello	Larice - Larice
Prova n.	3
F_{el} (kN)	10,77
δ_{el} (mm)	14,52
E (MPa)	940
F_{max} (kN)	18,69
F_u (kN)	12,73
δ_u (mm)	117,6
M_{el} (kNm)	1,7097
M_{max} (kNm)	2,967
M_u (kNm)	2,0209

Tab. 4.9 Pannello larice-larice n. 3

Si riporta, infine, una tabella riassuntiva comprensiva di valori medi riguardanti ogni tipologia di pannello.

Pannello	Prova n.	F _{el} (kN)	δ _{el} (mm)	E (MPa)	F _{max} (kN)	F _u (kN)	δ _u (mm)	M _{el} (kNm)	M _{max} (kNm)	M _u (kNm)
Abete - Abete	1	6,96	9,78	890	13,326	13,29	36,9	1,1049	2,1155	2,1098
Abete - Abete	2	8,47	13,08	840	13,995	10,02	74,27	1,3446	2,2217	1,5907
Abete - Abete	3	7,7	12,09	1110	15,585	10,02	83,03	1,2224	2,4741	1,5907
Abete - Abete	MEDIA	7,71	11,65	947	14,30	11,11	64,73	1,22	2,27	1,76
Abete - Larice	1	8,96	11,24	960	17,491	13,87	100,4	1,4224	2,7767	2,2019
Abete - Larice	2	7,85	10,87	890	15,817	15,24	61,39	1,2462	2,5109	2,4194
Abete - Larice	3	8,7	13,12	950	15,759	13,56	67,01	1,3811	2,5017	2,1527
Abete - Larice	MEDIA	8,50	11,74	933	16,36	14,22	76,27	1,35	2,60	2,26
Larice - Larice	1	10,74	12,07	950	18,036	11,65	132,8	1,705	2,8632	1,8494
Larice - Larice	2	11,04	13,07	1090	20,187	14,67	102,3	1,7526	3,2047	2,3289
Larice - Larice	3	10,77	14,52	940	18,69	12,73	117,6	1,7097	2,967	2,0209
Larice - Larice	MEDIA	10,85	13,22	993	18,97	13,02	117,57	1,72	3,01	2,07

Tab. 4.10 -Tabella riepilogativa dei risultati

Dall'analisi della tabella 4.10, si nota chiaramente che i pannelli Larice-Larice offrono una resistenza meccanica maggiore per la migliore qualità del legno rispetto all'Abete, mentre il modulo di elasticità tangente si mantiene costante.

CAPITOLO 5

LA CAMPAGNA DI PROVE SPERIMENTALI

5.1. Introduzione

La campagna di prove come già descritto nell'introduzione è stata eseguita su pannelli termoisolanti in legno *Porepan*, già descritti precedentemente.

Analizzando la composizione del singolo pannello, esso è costituito da:

- strato superiore: tavola in legno massiccio di Abete Austriaco di classe C24;
- strato coibente: polistirene espanso sinterizzato (EPS) conforme alla norma UNI 7819;
- strato inferiore: tavola in legno massiccio di Abete Austriaco di classe C24.

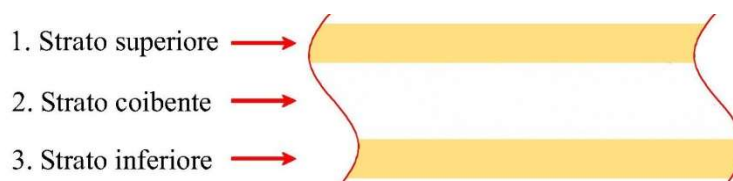


Fig. 5.1 Composizione del pannello Porepan

La campagna di prove è stata molto ampia pertanto è stata divisa in due gruppi, in particolare:

- *gruppo 1* fanno parte di questo gruppo tutte le prove per la caratterizzazione del materiale di base del singolo pannello ovvero prove a flessione su tavole in legno strutturale, prove a compressione su legno netto, prove a taglio e compressione su EPS, prove a trazione su barre in acciaio, prove a compressione su cubetti di calcestruzzo e prove sull'incollaggio legno-acciaio;
- il *gruppo 2* è per la caratterizzazione del pannello Porepan sia come solaio, con prove a flessione a diverse luci con e senza soletta in calcestruzzo collaborante e sia come parete, con prove per instabilità da carico di punta.

Il numero totale di prove sperimentali effettuate sono 135 e divise in diversi sotto-gruppi. In seguito è riportata una tabella riepilogativa di tutte le prove effettuate, per una più chiara comprensione.

	Tipo di prova	Gruppo	Dimensioni	Sotto-gruppo	N° provini	Tipologia del provino
			LxBxS [cm]			
Prove sul legno (materiale di base)	Prove a flessione su tavole in legno strutturale	B	84x22,5x4	B1	4	Tavole estratte dai provini del sotto-gruppo A1
				B2	3	Tavole estratte dai provini del sotto-gruppo A2
			84x20x4	B3	1	Tavola estratta dal provino del sotto-gruppo A3
				B4	1	Tavola estratta dal provino del sotto-gruppo A4
	Prove di compressione su provini di legno netto	C	4x2x2	C1	5	Provini estratti dalle tavole del sotto-gruppo B1
					5	
					5	
					5	
				C2	5	Provini estratti dalle tavole del sotto-gruppo B2
					5	
					5	
				C3	5	Provini estratti dalle tavole del sotto-gruppo B3

				C4	5	Provini estratti dalle tavole del sotto-gruppo B4
Prove su EPS (materiale di base)	Prove a taglio indiretto	D	40x26,5x18,5	D1	3	Provini testati senza l'ausilio del morsetto
				D2	3	Provini testati con l'ausilio del morsetto
	Prove a compressione su un provino di eps	G	8,2x10,4x8,9	/	1	/
Prove sull'incollaggio (legno-acciaio)	Prova a taglio sull'incollaggio	M	8x10x25	P.1	1	Piastra 1
			8x10x25	P.2	1	Piastra 2
			8x10x25	P.3	1	Piastra 3
	Prova a taglio sull'incollaggio	N	10x9,5x25	P.4	1	Piastra 4
			10x9,5x25	P.5	1	Piastra 5
Prove su CLS (materiale di base)	Prove a compressione su cubetti di cls	F	15x15x15	F1	1	Stagionatura 19 gg
				F2	1	Stagionatura 33 gg
Prove a trazione barre in acciaio (materiale di base)	Prova a trazione bullone	T	M10 8.8	4	1	Prova senza deformometro
			M10 8.8		1	Prova senza deformometro
	Prova a trazione barra liscia		M10 S355	3	1	Prova con deformometro
			M10 S355		1	Prova con deformometro
	Prova a trazione barra filettata		M10	2	1	Prova con deformometro
			M10		1	Prova con deformometro

	Prova a trazione barra filettata		M24	I	1	Prova con deformometro
Prove sul pannello Porepan a flessione (Solaio)	Prove a flessione su solai <i>Porepan</i> senza soletta	E	160x20,8x16	/	3	Prove a flessione su “3 punti forza”
	Prove a flessione su solai <i>Porepan</i> con soletta collaborante	H	306x40x20	H1	3	Prove a flessione su “4 punti forza”
			450x40x20	H2	3	Prove a flessione su “6 punti forza”
	Prove a flessione sul pannello Porepan senza soletta collaborante	Q	306x14,5x16	I	3	Provini con 4 collegamenti lignei
			306x14,5x16	II	3	Provini con 3 collegamenti lignei senza esp
			306x14,5x16	III	3	Provini con 2 collegamenti lignei
			306x14,5x16	IV	3	Provini senza collegamenti lignei
			306x14,5x16	V	3	Provini con 1 collegamento ligneo
			306x14,5x16	VI	3	Trave in legno lamellare
	Prove a flessione sul pannello Porepan senza soletta collaborante	R	200x22x16	I	3	Provini senza collegamenti lignei
			200x22x16	II	3	Provini con 1 collegamento ligneo
			200x22x16	III	3	Provini con 2 collegamenti lignei senza eps

			200x22x16	IV	3	Provini con collegamenti lignei continui
Prove sui collegamenti tra i pannelli	Prove a flessione sul collegamento	Z	208x16x14,5	P.C_a_1	1	Collegamento parallelo alla fibratura
			208x16x14,5	P.C_a_2	1	Collegamento parallelo alla fibratura
			208x16x14,5	P.C_b_1	1	Collegamento ortogonale alla fibratura
			208x16x14,5	P.C_c_1	1	Collegamento con profilo scatolare in acciaio
			208x16x14,5	P.C_c_2	1	Collegamento con profilo scatolare in acciaio
			208x16x29	P.C_d_1	1	Collegamento tra 4 pannelli parallelo alla fibratura
			208x16x29	P.C_d_2	1	Collegamento tra 4 pannelli ortogonale alla fibratura
Prove sul pannello Porepan per instabilità	Prove di instabilità	A	270x16x22,5	A1	4	Collegamento ligneo centrale ed eps
				A2	3	Collegamento ligneo posto in alto ed eps
			270x16x20	A3	1	Collegamento ligneo centrale senza eps
				A4	1	Collegamento ligneo centrale con bulloni $\phi 10$ ed eps
				A5	1	Legno lamellare

Prove sul pannello Porepan come parete [descritte nel capitolo 7]	Prove parete	P	160x16x200	1	1	Con funi non pretese
			160x16x200	2	1	Senza funi
			160x16x200	3	1	Con funi pretese
			160x16x200	4	1	Con barre filettate M27 di classe 4.8 pretese

Tab 5.1 Elenco delle prove sperimentali effettuate

5.2 Prove a flessione su tavole in legno strutturale (GRUPPO B)

Dopo aver effettuato le prove a carico di punta (Gruppo A, successivamente descritte), per ogni pannello *Porepan*, sono state estratte tavole di legno strutturale (Abete Austriaco di classe C24) di dimensioni circa 100x20x4 cm (LxBxS). Da ognuna sono stati ricavati cinque provini di legno netto di dimensioni circa 2x2x4cm (LxBxS), e un provino di dimensioni circa 84x20x4 cm (Fig. 5.2) per un totale di nove provini.

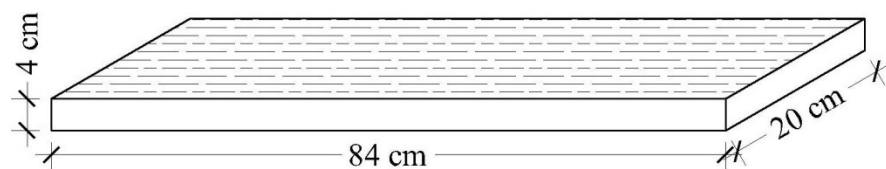
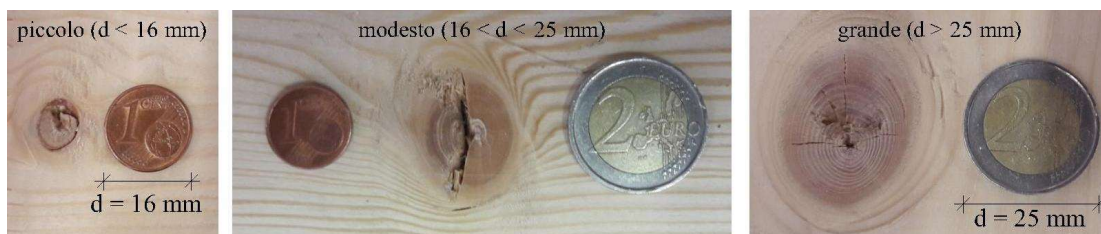


Fig. 5.2 Dimensioni del provino di legno strutturale

Su questi ultimi sono state eseguite n.9 prove di flessione su “4 punti forza” al fine di determinare le principali caratteristiche meccaniche (modulo elastico e resistenza a flessione). Le prove a flessione sono state effettuate in accordo a quanto stabilito dalla norma UNI-EN408:2004. La velocità di prova è di 5 mm/min per alcuni provini e di 10 mm/min per altri. L'apparecchio di prova utilizzato è la macchina per prove a flessione della Metrocom di proprietà della G.R. Sistemi già descritta nel Capitolo 3. (“Descrizione delle macchine di prova”). Essendo legno strutturale, sono presenti difetti quali nodi, deviazione della fibratura, fratture interne che influenzano, a seconda della loro posizione, il risultato della prova e, quindi, i valori delle caratteristiche meccaniche.

Il criterio adottato per la determinazione delle dimensioni dei nodi viene riportato nella figura seguente:



Set-up di prova

Per ottenere dei buoni risultati di prova, si è fatta particolare attenzione sia al posizionamento del provino sotto la macchina, sia nel predisporre tutti gli strumenti di misura necessari all'acquisizione dei dati. Per eliminare qualsiasi eccentricità nell'applicazione al carico, il provino deve essere centrato rispetto all'attuatore e rispetto, quindi, al banco di prova. Per il centraggio del provino sul banco di prova, su quest'ultimo sono state tracciate due linee ortogonali rappresentanti le mezzerie nelle due direzioni (Fig. 5.3).



Fig. 5.3 Centraggio provini (prove a flessione su tavole)

In base a queste si sono fissati gli appoggi secondo la configurazione di prova riportata nella Figura 5.4. Infine, il provino, avendo già segnato su di esso le linee di mezzeria in entrambe le direzioni, è stato poggiato sugli appoggi, facendo coincidere le linee tracciate su provino, appoggio, banco di prova.

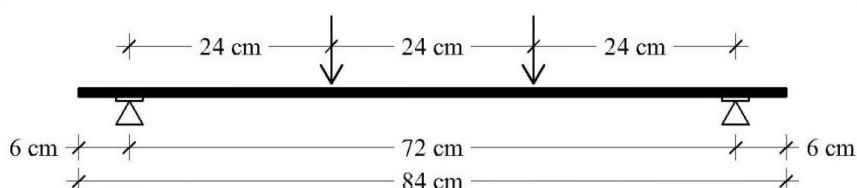


Fig. 5.4 Configurazione di prova (prove a flessione su tavole)

In accordo con la norma UNI EN 408:2004, sono stati misurati gli abbassamenti in mezzeria di una lunghezza centrale di riferimento pari a sei volte l'altezza della sezione (Fig. 5.5), che nel nostro caso corrisponde a 24 cm. Nel fissaggio si è fatta molta attenzione al mantenimento della perfetta verticalità dello strumento di misura, affinché venga letto solamente l'abbassamento verticale e non eventuali componenti. Per confronto, è stata riportata anche la figura della norma UNI EN 408:2007 nella quale si precisano i punti di posizionamento dei coltelli di carico.

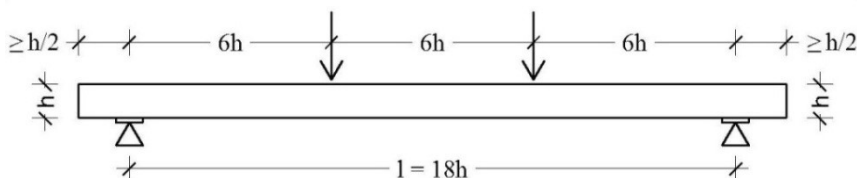


Fig. 5.5 Configurazione di prova secondo la norma UNI-EN 408 (prove a flessione su tavole)

I dati di output della strumentazione di prova sono:

- durata della prova [sec];
- abbassamento in mezzeria [mm];

- forza complessiva dell'attuatore [kN].

Da questi dati sono stati utilizzati la forza e l'abbassamento per ottenere i diagrammi F-w. Inoltre in questa fase è stata calcolata, per ogni singola prova, tensione massima di flessione a rottura valutata come il rapporto tra il momento flettente massimo M_{max} ed il modulo di resistenza elastico a flessione W_{el} .

Suddivisione e dimensioni dei provini

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa contenente le caratteristiche geometriche dei provini testati a flessione e la velocità di prova (Tab. 5.2).

Gruppo	Pannello	Provino	Lunghezza [cm]	Larghezza [cm]	Spessore [cm]	Velocità di prova [mm/min]
B1	P.I.0	P.I.0.F	84	22,5	4	5
	P.I.1	P.I.1.F	84	22,5	4	5
	P.I.2	P.I.2.F	84	22,5	4	5
	P.I.3	P.I.3.F	84	22,5	4	5
B2	P.I.4	P.I.4.F	84	22,5	4	5
	P.I.5	P.I.5.F	84	22,5	4	5
	P.I.6	P.I.6.F	84	22,5	4	5
B3	P.I.7	P.I.7.F	84	20,0	4	10
B4	P.I.8	P.I.8.F	84	20,0	4	10

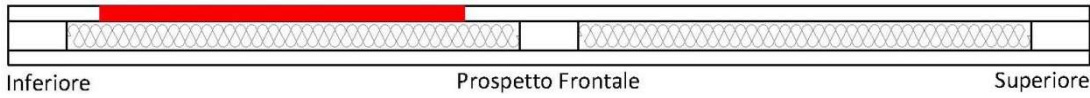
Tab. 5.2 Caratteristiche geometriche delle tavole in legno strutturale

Risultati delle prove: gruppo B1

Il gruppo B1 è costituito dai seguenti provini:

- provino P.I.0.F estratto dal provino P.I.0;
- provino P.I.1.F estratto dal provino P.I.1;
- provino P.I.2.F estratto dal provino P.I.2;
- provino P.I.3.F estratto dal provino P.I.3.

Risultati provino P.I.0.F (dimensioni 84x22,5x4 cm)



Il provino P.I.0.F presenta sulla faccia inferiore sei nodi di piccole dimensioni, tre di modeste dimensioni e un nodo più grande e allungato con conseguenziale deviazione della fibratura. La posizione di quest'ultimo è tra l'appoggio sinistro e il coltello di carico. La presenza di questo difetto di dimensioni così elevate dovrebbe costituire un punto di maggiore debolezza della tavola. Infatti la rottura è avvenuta proprio in corrispondenza di questo nodo. Sulla faccia superiore presente tre nodi, di cui uno di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura. Il taglio della tavola è avvenuta “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare.

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento (Fig. 5.6) e la tabella dei risultati (Tab. 5.3).

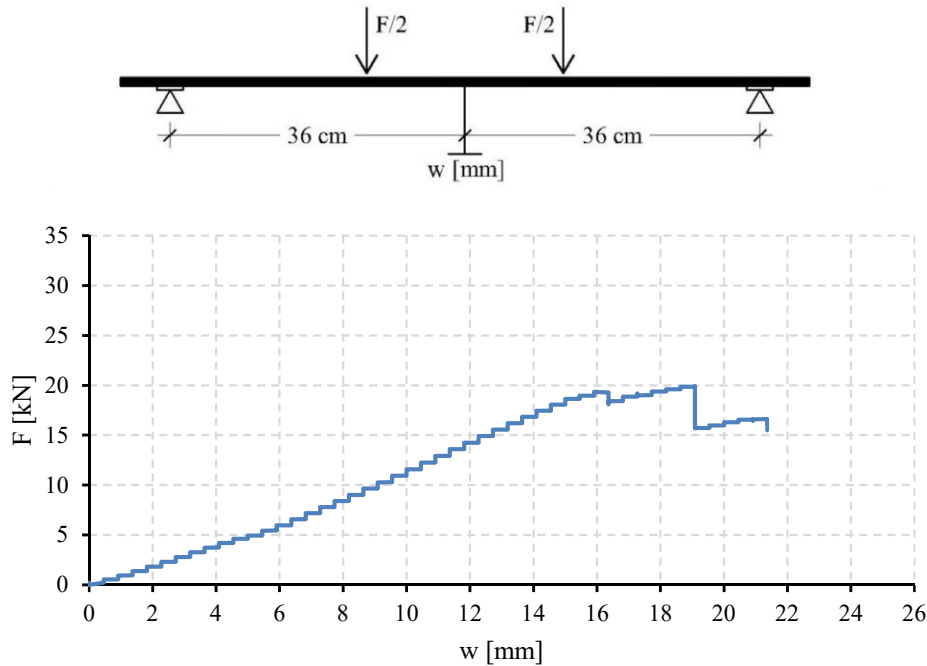


Fig. 5.6 Diagramma forza-abbassamento (provino P.I.0.F)

Provino P.I.0.F			
F_{\max} [kg]	$W_{el} \left(\frac{B \times H^2}{6} \right)$ [cm ³]	M_{\max} [kgcm]	σ [kg/cm ²]
1993,7	60	23924,8	398,7

Tab. 5.3 Tabella dei risultati provino P.I.0.F

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all'attingimento del valore di forza di 19,3 kN con un corrispondente abbassamento in mezzzeria di 16,4 mm. Si evince un comportamento elasto-fragile

della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 19,3 kN a cui corrisponde un abbassamento di 16,4 mm, poi ancora un tratto lineare fino al raggiungimento della forza massima, 19,9 kN. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona sulla faccia inferiore della tavola in corrispondenza di un nodo.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa (Tab. 5.4) e la documentazione fotografica (Fig. 5.7) che permette di cogliere immediatamente il meccanismo di rottura.

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/11/2015
DIMENSIONI	840x225x40 mm
TIPOLOGIA	Legno strutturale – Abete austriaco
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP: 3
	FACCIA INF: 4
	ESTREMO DX: /
	ESTREMO SX: /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione del modulo di elasticità e della resistenza a flessione del legno
DURATA DELLA PROVA	265 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

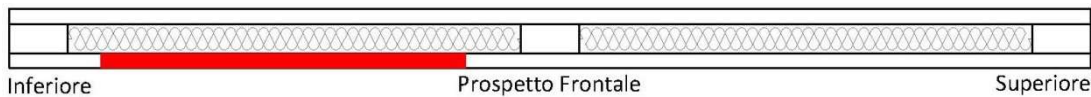
carico F [kN]	abbassamento in mezzeria w [mm]	CONDIZIONE
19,3	16,4	Prima fessurazione
19,3	16,4	Elastica
19,9	21,4	Ultima

Tab. 5.4 Scheda riepilogativa provino P.I.0.F



Fig. 5.7 Foto provino P.I.0.F

Risultati provino P.I.1.F (dimensioni 84x22,5x4 cm)



Il provino P.I.1.F presenta sulla faccia inferiore sei nodi di cui tre di piccola dimensione e tre di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura. Sulla faccia superiore presenta quattro nodi più grandi. Il taglio della tavola è avvenuta “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare.

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento (Fig. 5.8) e la tabella dei risultati (Tab. 5.5).

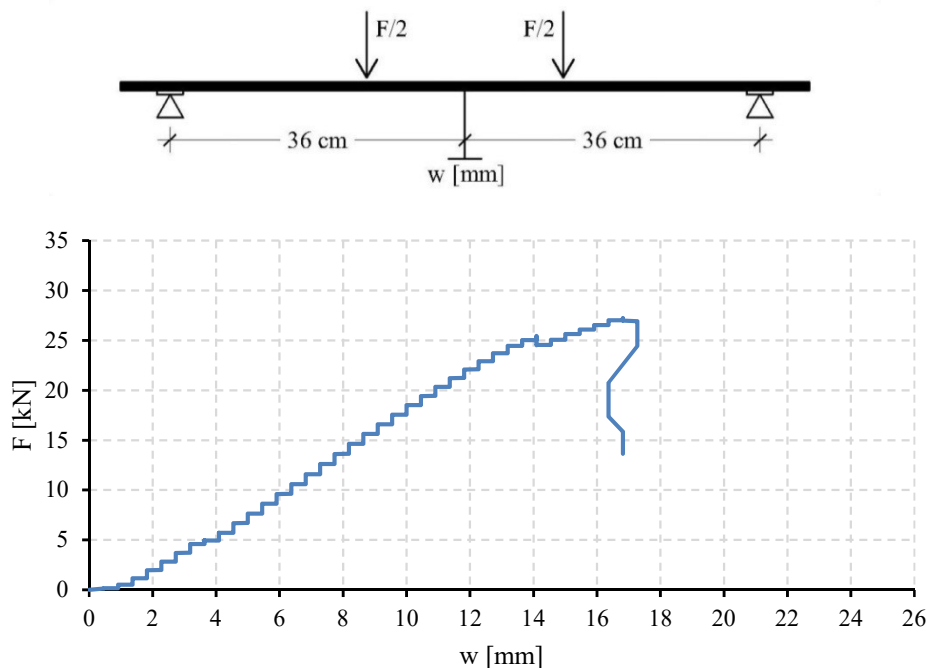


Fig. 5.8 Diagramma forza-abbassamento (provino P.I.1.F)

Provino P.I.1.F			
F_{\max} [kg]	$W_{el}\left(\frac{B \times H^2}{6}\right)$ [cm ³]	M_{\max} [kgcm]	σ [kg/cm ²]
2723,9	60	32686,6	544,8

Tab. 5.5 Tabella dei risultati provino P.I.1.F

Durante la prova, la prima fessura è stata registrata in corrispondenza di una forza di 25,2 kN e uno spostamento di 14 mm. Si nota un tratto elastico crescente molto regolare fino ad una forza di 25,2 kN a cui corrisponde un abbassamento di 14 mm.

In seguito, il diagramma ha sempre un andamento rettilineo ma con delle piccole irregolarità. Giunti ad una forza di 27,2 kN e ad un abbassamento di 17,3 mm, il provino si rompe. La rottura è

accompagnata da un rumore sordo di notevole intensità. Si è verificata una fessura sulla faccia inferiore in corrispondenza della cella di carico dx. La lesione ha interessato tutto il lato minore. Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa (Tab. 5.6) e la documentazione fotografica (Fig. 5.9) che permette di cogliere immediatamente il meccanismo di rottura.

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/11/2015
DIMENSIONI	840x225x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno strutturale – Abete austriaco
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP: 4
	FACCIA INF: 3
	ESTREMO DX: /
	ESTREMO SX: /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione del modulo di elasticità e della resistenza a flessione del legno
DURATA DELLA PROVA	202 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

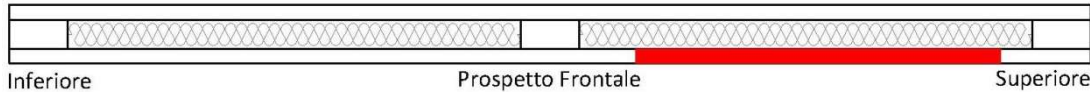
carico F [kN]	abbassamento in mezzeria w [mm]	CONDIZIONE
25,2	14,0	Prima fessurazione
25,2	14,0	Elastica
27,2	17,3	Ultima

Tab. 5.6 Scheda riepilogativa provino P.I.1.F



Fig. 5.9 Foto provino P.I.1.F

Risultati provino P.I.2.F (dimensioni 84x22,5x4 cm)



Il provino P.I.2.F è caratterizzato dalla presenza sulla faccia inferiore di cinque nodi di piccole dimensioni e due di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura. Uno di questi, posizionato sotto la cella di carico di sinistra, dovrebbe costituire un punto di maggiore debolezza della tavola. Infatti si fessurerà proprio in corrispondenza di questo nodo. Sulla faccia superiore sono presenti due nodi di piccole dimensioni e un nodo di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura.

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento (Fig. 5.10) e la tabella dei risultati (Tab. 5.7).

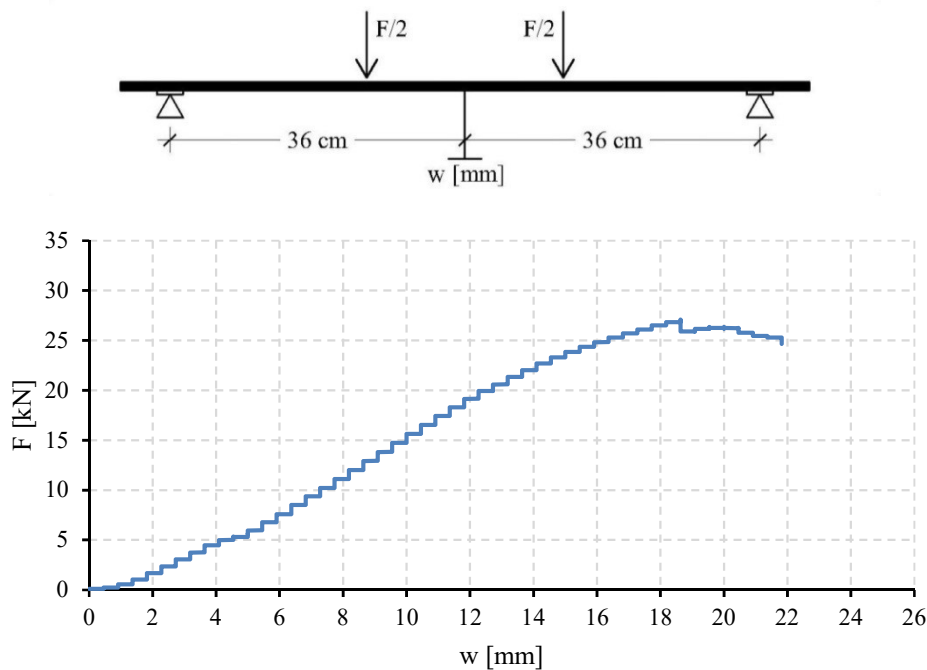


Fig. 5.10 Diagramma forza abbassamento (provino P.I.2.F)

Provino P.I.2.F			
F_{\max} [kg]	$W_{el} \left(\frac{B \times H^2}{6} \right)$ [cm ³]	M_{\max} [kgcm]	σ [kg/cm ²]
2709,2	60	32510,1	541,8

Tab. 5.7 Tabella dei risultati provino P.I.2.F

Il grafico del provino P.I.2.F presenta un tratto elastico lineare fino al valore di forza 19,6 kN a cui corrisponde un abbassamento di 12,3 mm. Attinto il valore di forza di 27 kN, la tavola ha subito una rottura pronunciata sulla faccia inferiore nei pressi del nodo sotto il punto di applicazione della forza.

Ciò ha comportato una inclinazione del provino che ha causato una fessura lungo il lato minore, con un abbassamento in mezzeria di 21,9 mm .

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa (Tab. 5.8) e la documentazione fotografica (Fig. 5.11) che permette di cogliere immediatamente il meccanismo di rottura.

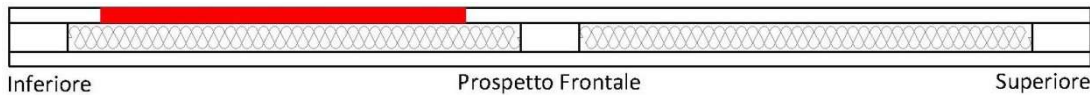
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO		
DATA DI PROVA	23/11/2015	
DIMENSIONI	840x225x40 mm	
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno strutturale – Abete austriaco	
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP: 1	
	FACCIA INF: 2	
	ESTREMO DX: /	
	ESTREMO SX: /	
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)	
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione del modulo di elasticità e della resistenza a flessione del legno	
DURATA DELLA PROVA	286 secondi	
COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)		
carico F [kN]	abbassamento in mezzeria w [mm]	CONDIZIONE
27,0	21,9	Prima fessurazione
19,6	12,3	Elastica
27,0	21,9	Ultima

Tab. 5.8 Scheda riepilogativa provino P.I.2.F



Fig. 5.11 Foto provino P.I.2.F

Risultati provino P.I.3.F (dimensioni 84x22,5x4 cm)



Il provino P.I.3.F è caratterizzato dalla presenza sulla faccia inferiore di sette nodi di piccole dimensioni e due di modeste dimensioni e tre di grandi dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura. Sulla faccia superiore si presentano cinque nodi di piccole dimensione e quattro nodi di modeste dimensioni.

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento (Fig. 5.12) e la tabella dei risultati (Tab. 5.9).

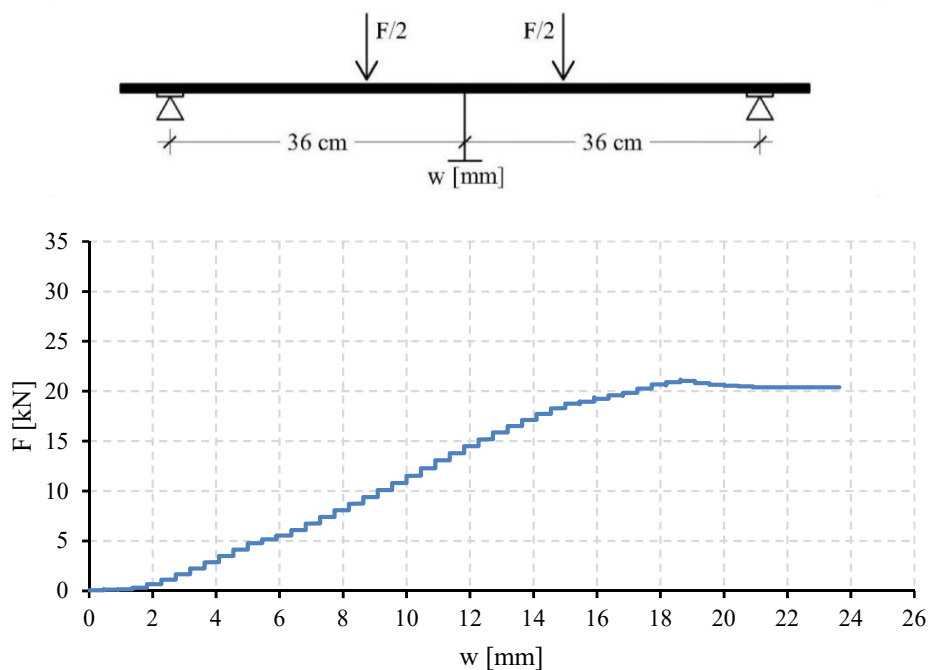


Fig. 5.12 Diagramma forza-abbassamento (provino P.I.3.F)

Provino P.I.3.F			
F_{\max} [kg]	$W_{el} \left(\frac{B \times H^2}{6} \right)$ [cm ³]	M_{\max} [kgcm]	σ [kg/cm ²]
2117,2	60	25406,6	423,4

Tab. 5.9 Tabella dei risultati provino P.I.3.F

Il grafico del provino P.I.3.F presenta un tratto elastico lineare fino al valore di forza 18,3 kN a cui corrisponde un abbassamento di 15 mm. Attinto il valore di forza di 21,2 kN, la tavola ha subito una rottura sulla faccia inferiore nei pressi del nodo sotto il punto di applicazione della forza.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa (Tab. 5.10) e la documentazione fotografica (Fig. 5.13) che permette di cogliere immediatamente il meccanismo di rottura.

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/11/2015
DIMENSIONI	840x225x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno strutturale – Abete austriaco
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP: 4
	FACCIA INF: 5
	ESTREMO DX: /
	ESTREMO SX: /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione del modulo di elasticità e della resistenza a flessione del legno
DURATA DELLA PROVA	314 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F [kN]	abbassamento in mezzeria w [mm]	CONDIZIONE
18,9	15,9	Prima fessurazione
18,3	15,0	Elastica
21,2	23,6	Ultima

Tab. 5.10 Scheda riepilogativa provino P.I.3.F



Fig. 5.13 Foto provino P.I.3.F

5.2.2.4. Riepilogo risultati del gruppo B1

Di seguito, si riporta, il grafico forza-abbassamento riepilogativo dei provini del primo gruppo (Fig. 5.14) e la relativa tabella riepilogativa dei risultati (Tab. 5.11).

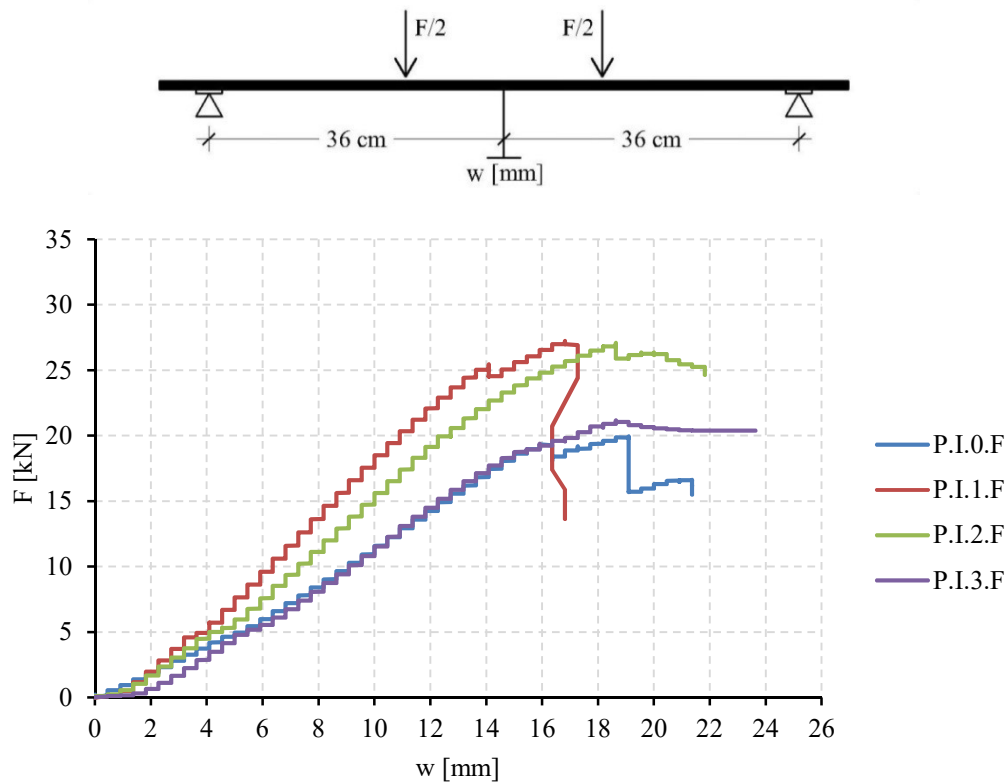


Fig. 5.14 Diagramma riepilogativo forza-abbassamento (provini del primo gruppo)

Riepilogo dei risultati

Provino	F_{max} [kg]	$W_{el} \left(\frac{B \times H^2}{6} \right)$ [cm ³]	M_{max} [kgcm]	σ [kg/cm ²]
P.I.0.F	1993,7	60	23924,8	398,7
P.I.1.F	2723,9	60	32686,6	544,8
P.I.2.F	2709,2	60	32510,1	541,8
P.I.3.F	2117,2	60	25406,6	423,4

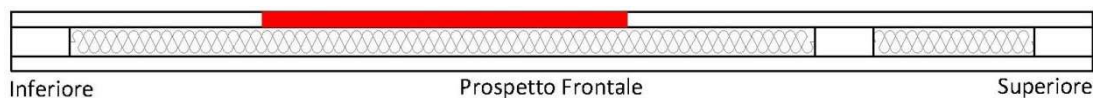
Tab. 5.11 Tabella riepilogativa dei risultati del primo gruppo

Risultati delle prove: gruppo B2

Il gruppo B2 è costituito dai seguenti provini:

- provino P.I.0.F estratto dal provino P.I.4;
- provino P.I.1.F estratto dal provino P.I.5;
- provino P.I.2.F estratto dal provino P.I.6.

Risultati provino P.I.4.F (dimensioni 84x22,5x4 cm)



Il provino P.I.4.F è caratterizzato dalla presenza di numerosi piccoli nodi sulla faccia inferiore, di cui uno di grandi dimensioni. Sulla faccia superiore sono presenti nove nodi di piccole dimensioni e uno “a baffo” di modeste dimensioni.

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento (Fig. 5.15) e la tabella dei risultati (Tab. 5.12).

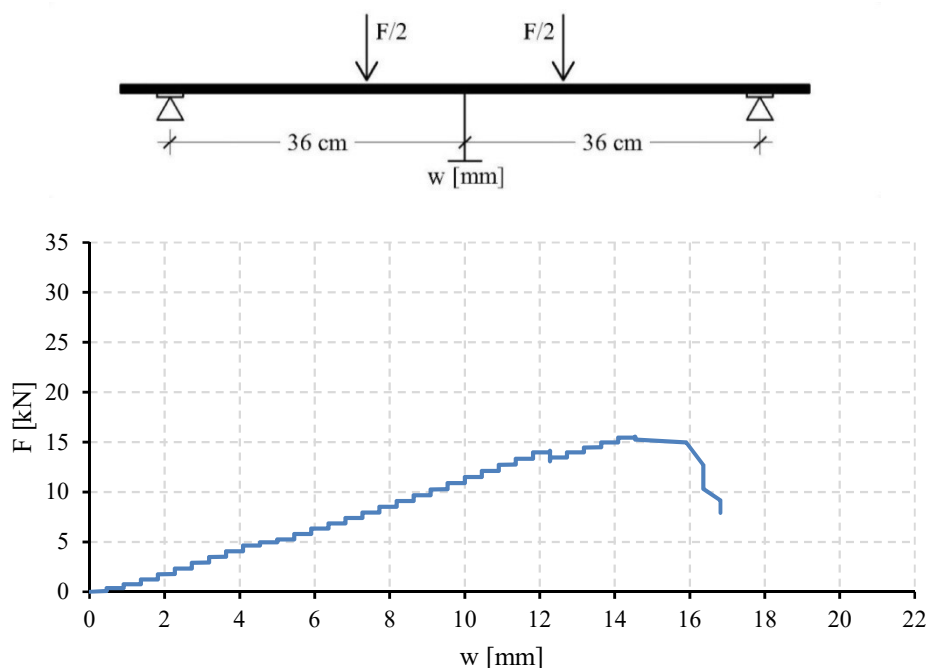


Fig. 5.15 Diagramma forza-abbassamento (Provino P.I.4.F)

Provino P.I.4.F			
F_{\max} [kg]	$W_{el} \left(\frac{B \times H^2}{6} \right)$ [cm ³]	M_{\max} [kgcm]	σ [kg/cm ²]
1554,4	60	18652,3	310,9

Tab. 5.12 Tabella dei risultati provino P.I.4.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 13,3 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 12,3 mm. Si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 13,3 kN a cui corrisponde un abbassamento di 12,3 mm, poi ancora un tratto lineare fino al raggiungimento della forza massima pari a 15,5 kN.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa (Tab. 5.13) e la documentazione fotografica (Fig. 5.16) che permette di cogliere immediatamente il meccanismo di rottura.

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/11/2015
DIMENSIONI	840x225x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno strutturale – Abete austriaco
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP: 1
	FACCIA INF: 1
	ESTREMO DX : / ESTREMO SX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione del modulo di elasticità e della resistenza a flessione del legno
DURATA DELLA PROVA	174 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

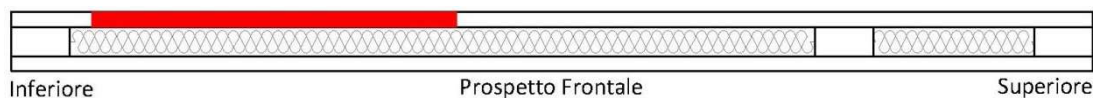
carico F [kN]	abbassamento in mezzeria w [mm]	CONDIZIONE
13,3	12,3	Prima fessurazione
13,3	12,3	Elastica
15,5	16,8	Ultima

Tab. 5.13 Scheda riepilogativa provino P.I.4.F



Fig. 5.16 Foto provino P.I.4.F

Risultati provino P.I.5.F (dimensioni 84x22,5x4 cm)



Il provino P.I.5.F è caratterizzato dalla presenza sulla faccia inferiore di un singolo nodo con conseguenziale deviazione della fibratura. Sulla faccia superiore non sono presenti difetti quali nodi.

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento (Fig. 5.17) e la tabella dei risultati (Tab. 5.14).

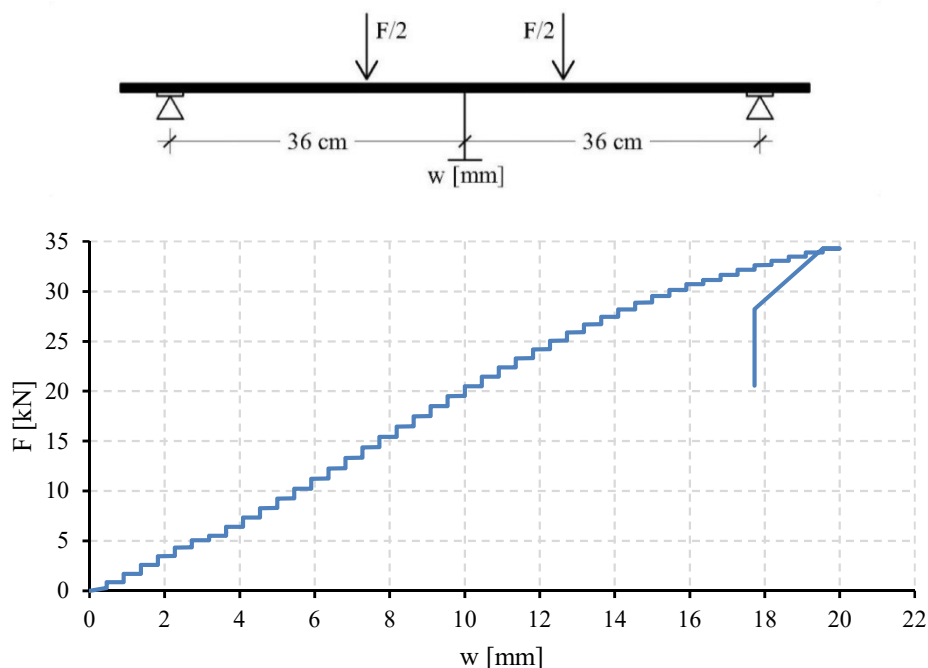


Fig. 5.17 Diagramma forza-abbassamento (provino P.I.5.F)

Provino P.I.5.F			
F_{\max} [kg]	$W_{el} \left(\frac{B \times H^2}{6} \right)$ [cm ³]	M_{\max} [kgcm]	σ [kg/cm ²]
3428,3	60	41139,6	685,7

Tab. 5.14 Tabella dei risultati provino P.I.5.F

Il grafico del provino P.I.5.F presenta un tratto elastico lineare fino al valore di forza 28,7 kN a cui corrisponde un abbassamento di 14,5 mm. Attinto il valore di forza di 34,3 kN, la tavola ha subito una rottura pronunciata sulla faccia inferiore nei pressi del nodo sotto il punto di applicazione della forza. Ciò ha comportato una inclinazione del provino che ha causato una fessura lungo il lato minore, con un abbassamento in mezzeria di 20,0 mm.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa (Tab. 5.15) e la documentazione fotografica (Fig. 5.18) che permette di cogliere immediatamente il meccanismo di rottura.

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/11/2015
DIMENSIONI	840x225x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno strutturale – Abete austriaco
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : /
	FACCIA INF: 1 nodo
	ESTREMO DX: /
	ESTREMO SX: /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione del modulo di elasticità e della resistenza a flessione del legno
DURATA DELLA PROVA	237 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

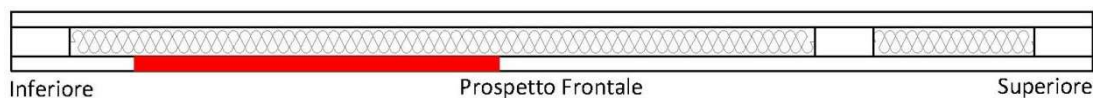
carico F [kN]	abbassamento in mezzeria w [mm]	CONDIZIONE
28,7	14,5	Prima fessurazione
28,7	14,5	Elastica
34,3	20,0	Ultima

Tab. 5.15 Scheda riepilogativa provino P.I.5.F



Fig. 5.18 Foto provino P.I.5.F

Risultati provino P.I.6.F (dimensioni 84x22,5x4 cm)



Il provino P.I.6.F è caratterizzato dalla presenza di quattro nodi sulla faccia inferiore e di tre nodi di cui solo uno grande sulla faccia superiore. Agli estremi e lungo lo spessore non si notano particolari difetti.

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento (Fig. 5.19) e la tabella dei risultati (Tab. 5.16).

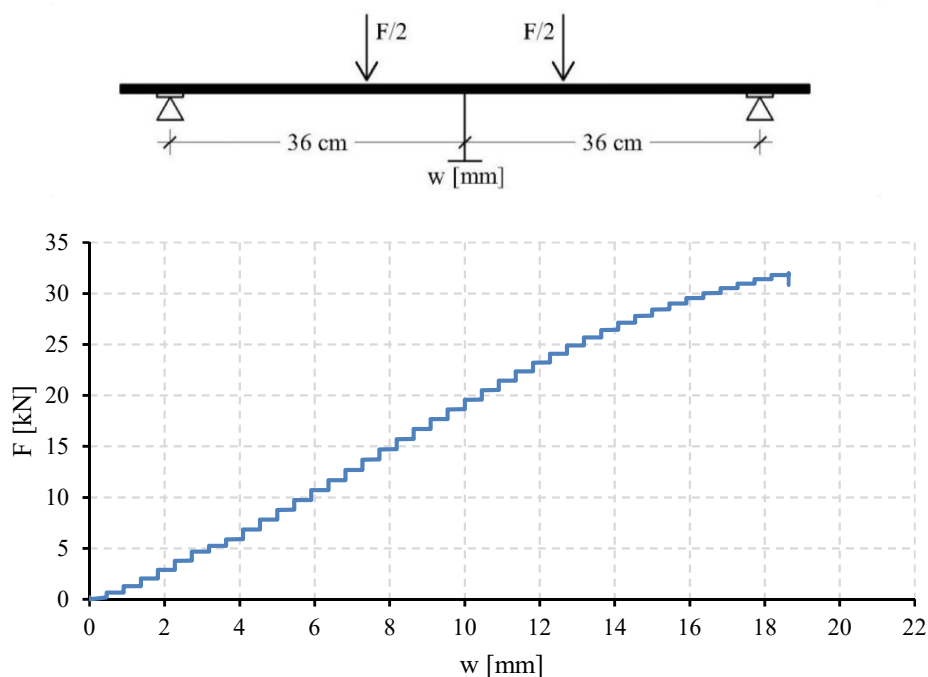


Fig. 5.19 Diagramma forza-abbassamento (provino P.I.6.F)

Provino P.I.6.F			
F_{\max} [kg]	$W_{el} \left(\frac{B \times H^2}{6} \right)$ [cm ³]	M_{\max} [kgcm]	σ [kg/cm ²]
3195,7	60	38348,9	639,1

Tab. 5.16 Tabella dei risultati provino P.I.6.F

Il diagramma forza-abbassamento del provino in esame è molto regolare, perfettamente lineare quasi fino a rottura che si registra, dopo qualche irregolarità quando si attinge una forza di 31,9 kN a cui corrisponde un abbassamento di 18,6 mm.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa (Tab. 5.17) e la documentazione fotografica (Fig. 5.20) che permette di cogliere immediatamente il meccanismo di rottura.

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/11/2015
DIMENSIONI PROVINO	840x225x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno strutturale – Abete austriaco
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP: 1
	FACCIA INF: 4
	ESTREMO DX: / ESTREMO SX: /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione del modulo di elasticità e della resistenza a flessione del legno
DURATA DELLA PROVA	236 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F [kN]	abbassamento in mezzeria w [mm]	CONDIZIONE
31,9	18,6	Prima fessurazione
30,1	16,8	Elastica
31,9	18,6	Ultima

Tab. 5.17 Scheda riepilogativa provino P.I.6.F



Fig. 5.20 Foto provino P.I.6.F

5.2.2.6. Riepilogo risultati del gruppo B2

Di seguito, si riporta, il grafico forza-abbassamento riepilogativo dei provini del secondo gruppo (Fig. 5.21) e la relativa tabella riepilogativa dei risultati (Tab. 5.18).

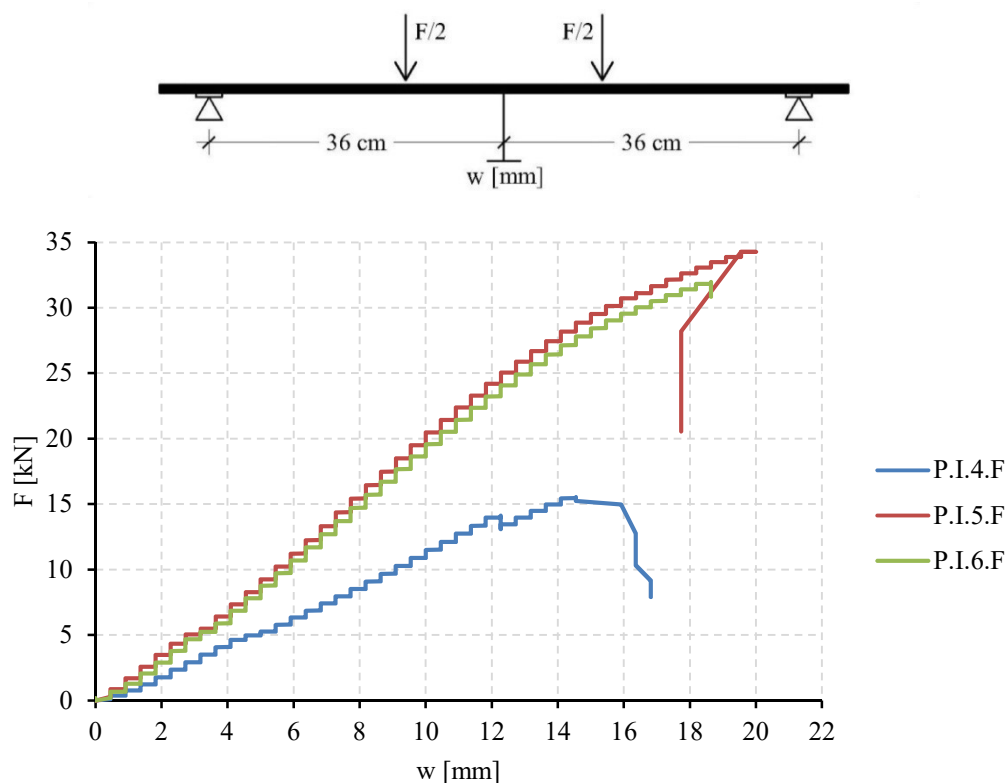


Fig. 5.21 Diagramma riepilogativo forza-abbassamento (provini del secondo gruppo)

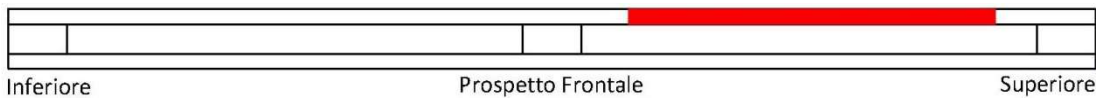
Riepilogo dei risultati				
Provino	F_{\max} [kg]	$W_{el} \left(\frac{B \times H^2}{6} \right)$ [cm ³]	M_{\max} [kgcm]	σ [kg/cm ²]
P.I.4.F	1554,4	60	18652,3	310,9
P.I.5.F	3428,3	60	41139,6	685,7
P.I.6.F	3195,7	60	38348,6	639,1

Tab. 5.18 Tabella riepilogativa dei risultati del secondo gruppo

Risultati delle prove: gruppo B3

Il gruppo B3 è costituito dai un solo provino, denominato P.I.7.F.

Risultati provino P.I.7.F (dimensioni 84x20x4 cm)



Il provino P.I.7.F presenta sulla faccia inferiore sette nodi di piccole dimensioni e un nodo più grande con conseguenziale deviazione della fibratura. Sulla faccia superiore sono presenti quattro nodi di piccole dimensioni e un nodo più grande con conseguenziale deviazione della fibratura. Agli estremi e lungo lo spessore non si notano particolari difetti.

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento (Fig. 5.22) e la tabella dei risultati (Tab. 5.19).

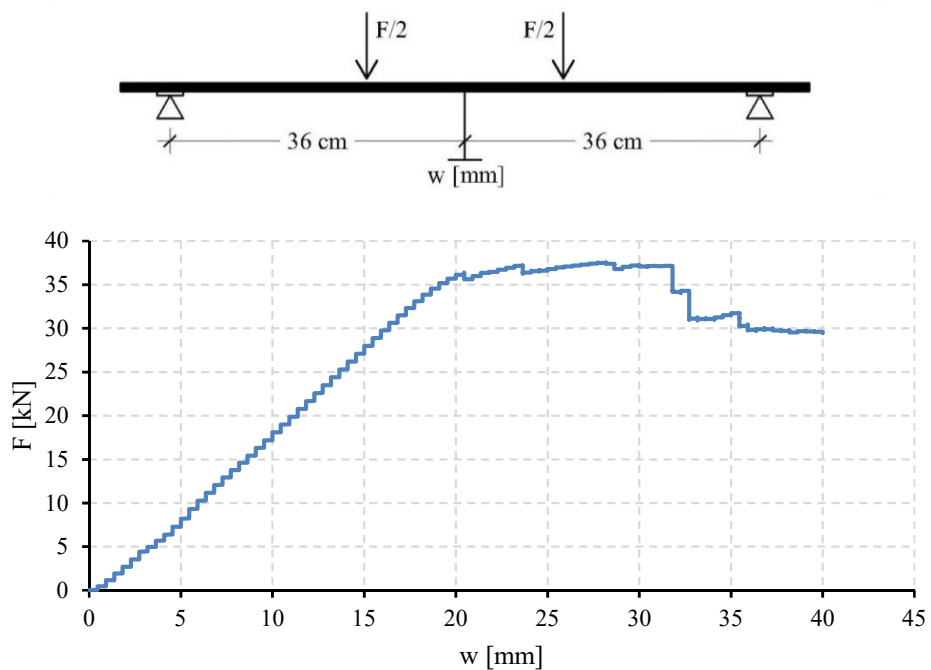


Fig. 5.22 Diagramma forza-abbassamento (provino P.I.7.F)

Provino P.I.7.F			
F_{max} [kg]	$W \left(\frac{B \times H^2}{6} \right)$ [cm ³]	M_{max} [kgcm]	σ [kg/cm ²]
3752,5	53,3	45029,6	844,3

Tab. 5.19 Tabella dei risultati provino P.I.7.F

Durante la prova, la prima fessura è stata registrata in corrispondenza di una forza di 35,8 kN e un abbassamento in mezzeria di 20,5 mm. Si nota un tratto elastico crescente molto regolare fino ad una forza di 35,8 kN a cui corrisponde un abbassamento di 20,5 mm. Attinto il valore di forza di 35,8 kN, la tavola ha subito una rottura pronunciata sulla faccia inferiore nei pressi nel nodo sotto il punto di applicazione della forza. In seguito, il diagramma presenta una serie di tratti rettilinei con continue

nascite di fessure. In corrispondenza del carico pari a 36,6 kN ed un abbassamento di 31,8 mm si verifica un progressivo abbattimento del carico fino ad una forza di 35,5 kN. Giunti ad una forza di 29,7 kN ed un abbassamento di 39,6 mm, il provino si rompe.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa (Tab. 5.20) e la documentazione fotografica (Fig. 5.23) che permette di cogliere immediatamente il meccanismo di rottura.

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	09/05/2016
DIMENSIONI PROVINO	840x200x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno strutturale – Abete austriaco
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP: 1
	FACCIA INF: 1
	ESTREMO DX: /
	ESTREMO SX: /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione del modulo di elasticità e della resistenza a flessione del legno
DURATA DELLA PROVA	253 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F [kN]	abbassamento in mezzeria w [mm]	CONDIZIONE
35,8	20,0	Prima fessurazione
33,9	18,6	Elastica
37,5	41,4	Ultima

Tab. 5.20 Scheda riepilogativa provino P.I.7.F

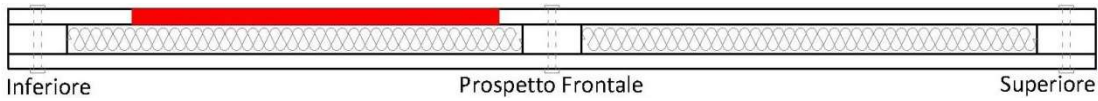


Fig. 5.23 Foto provino P.I.7.F

Risultati delle prove: gruppo B4

Il gruppo B4 è costituito dai un solo provino, denominato P.I.8.F.

Risultati provino P.I.8.F (dimensioni 84x20x4 cm)



Il provino P.I.8.F presenta sulla faccia inferiore un nodo di piccole dimensioni e due nodi più grandi con conseguenziale deviazione della fibratura. Sulla faccia superiore è presente un solo nodo più grande con conseguenziale deviazione della fibratura. Agli estremi e lungo lo spessore non si notano particolari difetti.

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento (Fig. 5.24) e la tabella dei risultati (Tab. 5.21).

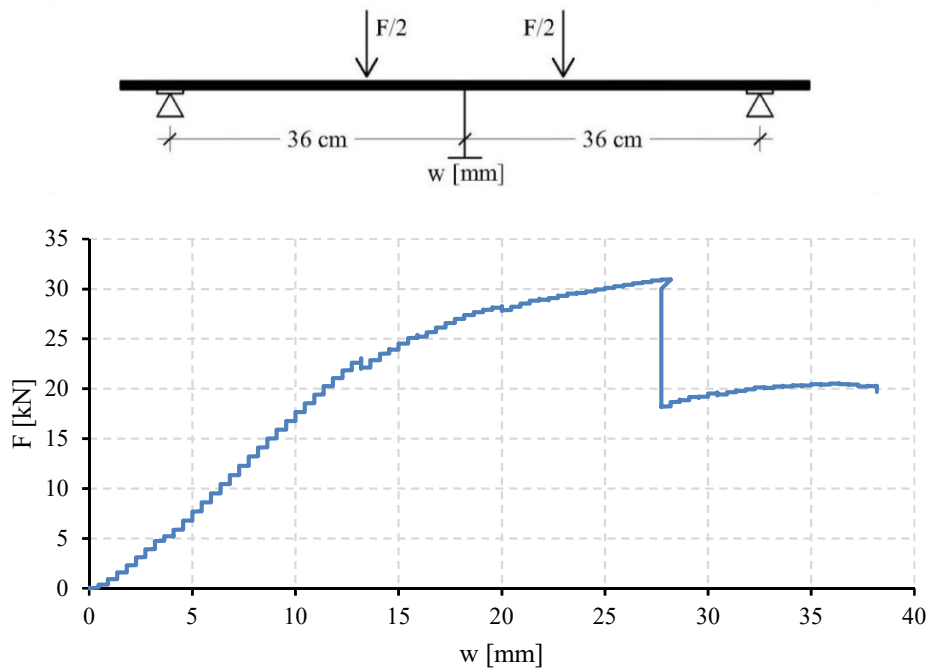


Fig. 5.24 Diagramma forza-abbassamento (provino P.I.8.F)

Provino P.I.8.F			
F_{\max} [kg]	$W \left(\frac{B \times H^2}{6} \right)$ [cm ³]	M_{mezzeria} [kgcm]	σ [kg/cm ²]
3093,7	53,3	37124,5	696,1

Tab. 5.21 Tabella dei risultati provino P.I.8.F

Durante la prova, la prima fessura è stata registrata in corrispondenza di una forza di 21,9 kN e un abbassamento in mezzeria di 12,7 mm. Si nota un tratto elastico crescente molto regolare fino ad una forza di 21,9 kN a cui corrisponde un abbassamento di 12,7 mm.

Attinto il valore di forza di 21,9 kN, la tavola ha subito una rottura pronunciata sulla faccia inferiore nei pressi nel nodo sotto il punto di applicazione della forza. In seguito, il diagramma presenta una

serie di tratti rettilinei con continue nascite di fessure. In corrispondenza del carico pari a 30,8 kN ed un abbassamento di 27,7 mm si verifica un improvviso abbattimento del carico fino ad una forza di 19,3 kN. Giunti ad una forza di 20,3 kN ed un abbassamento di 37,7 mm, il provino si rompe subendo uno scorrimento nella parte sinistra. Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa (Tab. 5.22) e la documentazione fotografica (Fig. 5.25) che permette di cogliere immediatamente il meccanismo di rottura.

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	09/05/2016
DIMENSIONI PROVINO	840x200x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno strutturale – Abete austriaco
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP: 1
	FACCIA INF: 2
	ESTREMO DX: /
	ESTREMO SX: /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione del modulo di elasticità e della resistenza a flessione del legno
DURATA DELLA PROVA	236 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F [kN]	abbassamento in mezzeria w [mm]	CONDIZIONE
21,9	12,7	Prima fessurazione
21,9	12,7	Elastica
30,9	38,2	Ultima

Tab. 5.22 Scheda riepilogativa provino P.I.8.F



Fig. 5.25 Foto provino P.I.8.F

Riepilogo complessivo dei risultati

Si riporta, di seguito, il grafico forza-abbassamento riepilogativo (Fig. 5.26) ed un ulteriore grafico contenente la media di tutti i provini testati (Fig. 5.27).

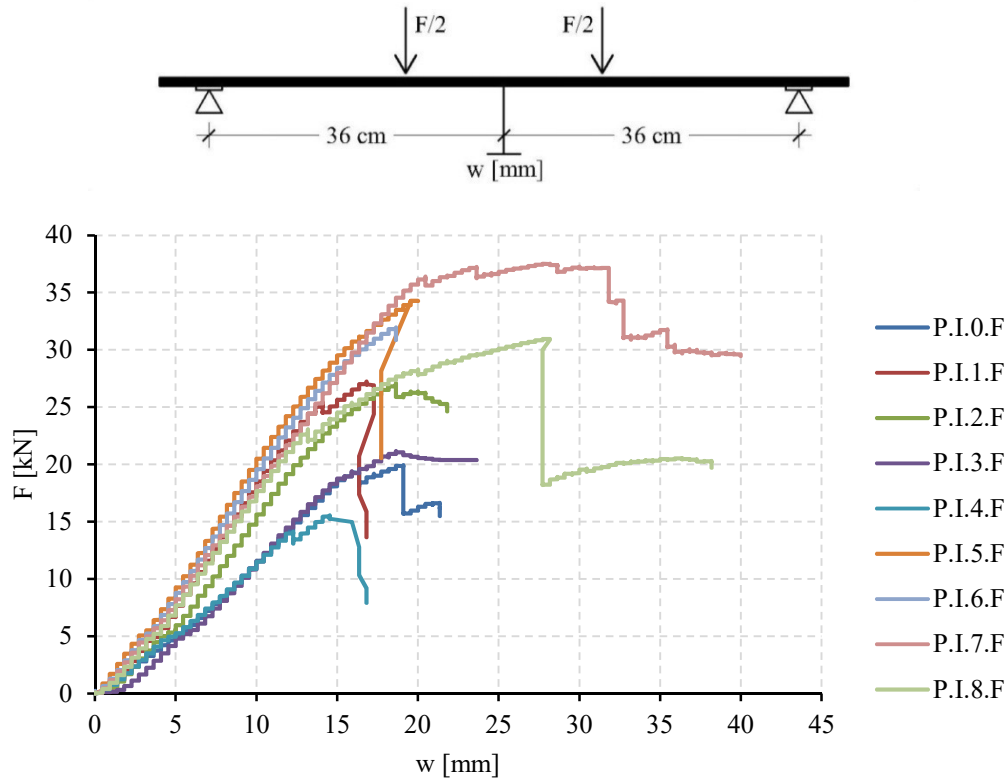


Fig. 5.26 Diagramma riepilogativo forza-abbassamento

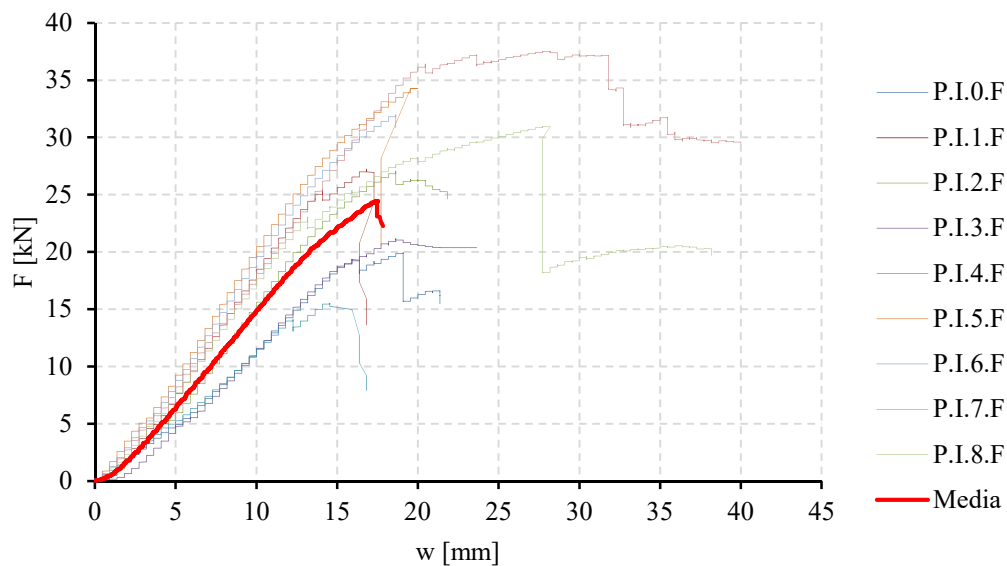


Fig. 5.27 Diagramma riepilogativo forza-abbassamento contenente la media

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa di tutti i risultati delle prove (Tab. 5.23).

GRUPPO	PROVINO	CARICO F [kN]	ABBASSAMENTO IN MEZZERIA w [mm]	CONDIZIONE
B1	P.I.0.F	19,3	16,4	Prima fessurazione
		19,3	16,4	Elastica
		19,9	21,4	Ultima
	P.I.1.F	25,2	14,0	Prima fessurazione
		25,2	14,0	Elastica
		27,2	17,3	Ultima
	P.I.2.F	27,0	21,9	Prima fessurazione
		19,6	12,3	Elastica
		27,0	21,9	Ultima
	P.I.3.F	18,9	15,9	Prima fessurazione
		18,3	15,0	Elastica
		21,2	23,6	Ultima
B2	P.I.4.F	13,3	12,3	Prima fessurazione
		13,3	12,3	Elastica
		15,5	16,8	Ultima
	P.I.5.F	28,7	14,5	Prima fessurazione
		28,7	14,5	Elastica
		34,3	20,0	Ultima
	P.I.6.F	31,9	18,6	Prima fessurazione
		30,1	16,8	Elastica
		31,9	18,6	Ultima
B3	P.I.7.F	35,8	20,0	Prima fessurazione
		33,9	18,6	Elastica
		37,5	41,4	Ultima
B4	P.I.8.F	21,9	12,7	Prima fessurazione
		21,9	12,7	Elastica
		30,9	38,2	Ultima

Tab. 5.23 Scheda riepilogativa dei risultati

5.3 Prove di compressione su legno netto (GRUPPO C)

Il programma di prove ha previsto l'esecuzione di n.45 prove di compressione su provini di legno netto (privo di difetti) di Abete Austriaco (Fig. 5.28), estratti dalle tavole in legno strutturale, di dimensioni circa 40x20x20 mm (LxBxS) al fine di determinare la tensione massima del materiale nella direzione lungo la quale il legno manifesta la maggiore resistenza.

L'apparecchio di prova utilizzato è la macchina della Metrocom già descritta nel Capitolo 3 ("Descrizione delle macchine di prova").

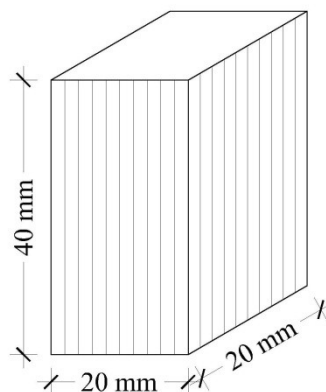


Fig. 5.28 Dimensioni del provino di legno netto

Set-up di prova

Le prove di compressione sono state effettuate in direzione parallela alle fibre (Fig. 5.29). Per prova in direzione parallela alle fibre si intende che il legno viene sollecitato nella sua direzione forte ossia nella direzione in cui manifesta le migliori caratteristiche di resistenza.

Fase delicata della prova è il posizionamento del provino sotto la macchina di prova: è necessario che la superficie superiore e inferiore del provino siano in perfetta aderenza con le piastre rigide interposte tra il provino e la macchina, al fine di evitare indesiderate eccentricità del carico.

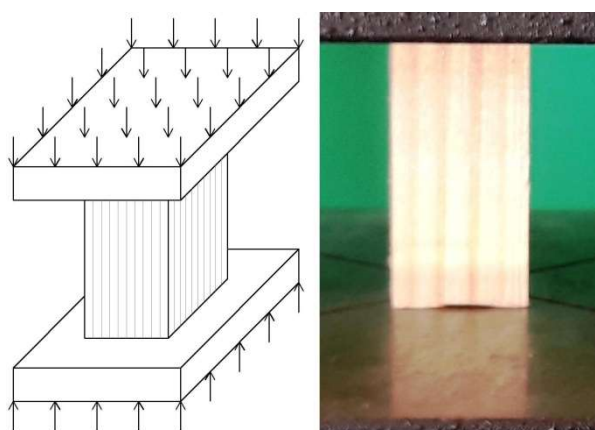


Fig. 5.29 Configurazione di prova (prove di compressione su legno netto)

Le prove sono state condotte in *controllo di spostamento*, ossia viene imposta una legge di spostamento nel tempo e una cella di carico registra il valore della forza corrispondente; in questo

modo è possibile investigare il comportamento al di là del massimo valore di resistenza raggiunto, quando il provino si porta nel campo delle deformazioni plastiche.

Poiché la prova avviene a deformazione controllata, è stato imposto alla macchina la velocità di 5 mm al minuto, mentre i valori della forza vengono registrati direttamente dalla macchina di prova.

I dati di output forniti dalla strumentazione di prova sono:

- durata della prova [sec];
- accorciamento assiale [mm];
- forza assiale della cella di carico [kN].

Di questi dati è stata utilizzata la forza e lo spostamento assiale per ottenere i diagrammi forza-spostamento e tensione-deformazione. La tensione σ è stata determinata facendo il rapporto tra la forza agente e la superficie di legno netto su cui essa agisce ed è espressa in kg/cm^2 . Per quanto riguarda la deformazione assiale, è stata calcolata attraverso il rapporto tra lo spostamento o abbassamento (assiale LVDT espresso in mm) e la lunghezza del provino parallela alla direzione della forza. La lunghezza considerata per tutti i provini è di 40 mm.

Suddivisione e dimensioni dei provini

Di seguito si riporta una tabella contenente la suddivisione in gruppi e le dimensioni effettive dei provini di legno netto testati (Tab 5.24).

Gruppo	Provino	Lunghezza [mm]	Base [mm]	Spessore [mm]
C1	C1	40	18	21
	C2	40	21	20
	P.I.0.F	C3	40	20
		C4	21	20
		C5	21	20
	P.I.1.F	C6	40	17
		C7	40	18
		C8	18	18
		C9	21	16
		C10	18	18
	P.I.2.F	C11	40	20
		C12	40	20
		C13	40	20
		C14	21	21
		C15	21	21
	P.I.3.F	C16	40	20
		C17	40	20
		C18	19	20
		C19	20	19
		C20	20	19
C2	P.I.4.F	C21	40	20
		C22	40	20
		C23	40	20
		C24	20	20
		C25	20	20
	P.I.5.F	C26	40	20
		C27	40	20
		C28	40	22
		C29	22	20
		C30	21	21
	P.I.6.F	C31	40	20
		C32	40	20
		C33	40	19
		C34	20	19
		C35	20	19
C3	P.I.7.F	C36	40	19
		C37	40	19
		C38	40	20
		C39	19	19
		C40	19	19
C4	P.I.8.F	C41	40	19
		C42	40	19
		C43	40	20
		C44	19	20
		C45	19	19

Tab. 5.24 Dimensioni effettive dei provini di legno netto

In linea generale, le modalità di rottura esibite dai provini rispettano le regole classiche della teoria dell'elasticità, infatti in tutti i provini si sono manifestate delle lesioni verticali parallele alla retta d'azione del carico, seguendo dunque (almeno idealmente) le linee isostatiche di compressione. Inoltre, le modalità di crisi manifestate rispecchiano perfettamente quelle descritte in letteratura tecnica.

Si riporta, di seguito, le foto di fine prova dei nove gruppi di provini di legno netto testati a compressione (Fig. 5.30).

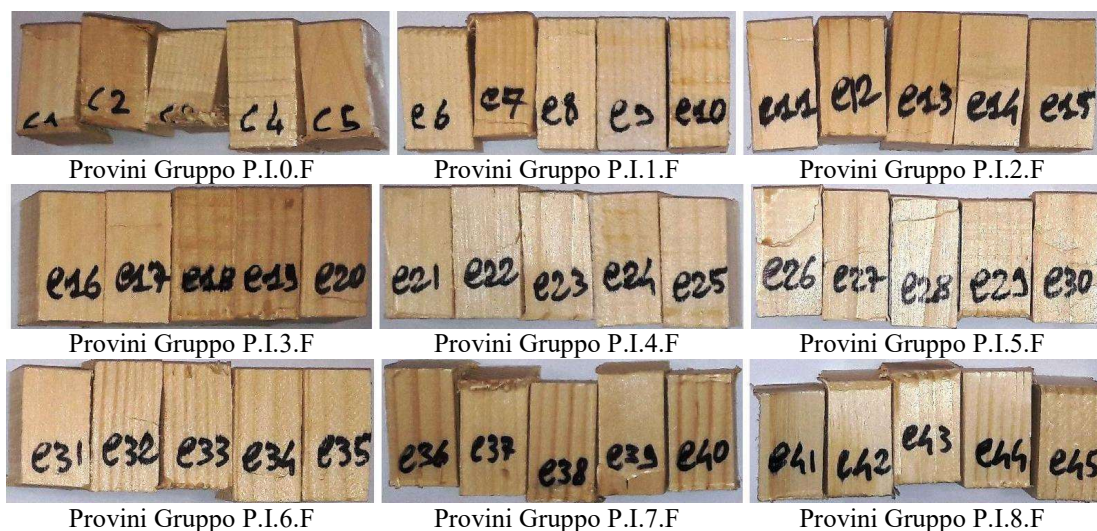


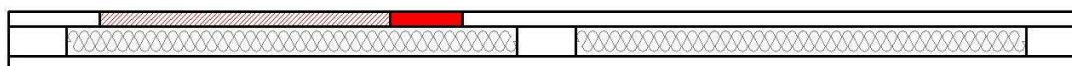
Fig. 5.30 Foto di fine prova dei provini di legno netto

Risultati delle prove: gruppo P.I.0.F

Il gruppo P.I.0.F è costituito dai seguenti provini:

- provino C1 (dimensioni 40x18x21 mm);
- provino C2 (dimensioni 40x21x20 mm);
- provino C3 (dimensioni 40x20x21 mm);
- provino C4 (dimensioni 40x21x20 mm);
- provino C5 (dimensioni 40x21x20 mm).

Si riporta, di seguito, una figura illustrativa all'interno della quale viene specificata la porzione di legno strutturale da cui sono stati estratti i provini di legno netto.



Risultati provino C1

Il comportamento del provino C1 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causata da uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.31) e tensione-deformazione (Fig. 5.32) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.25) e la documentazione fotografica (Fig. 5.33). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli

accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

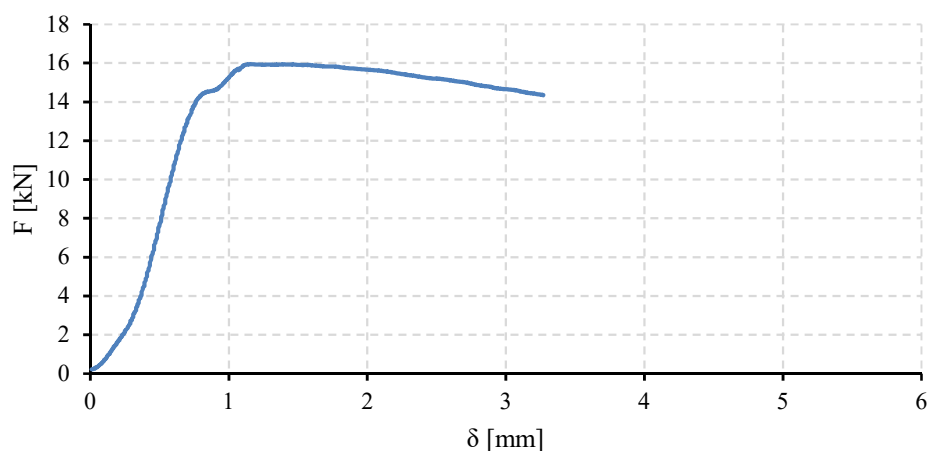


Fig. 5.31 Diagramma F - δ (provino C1)

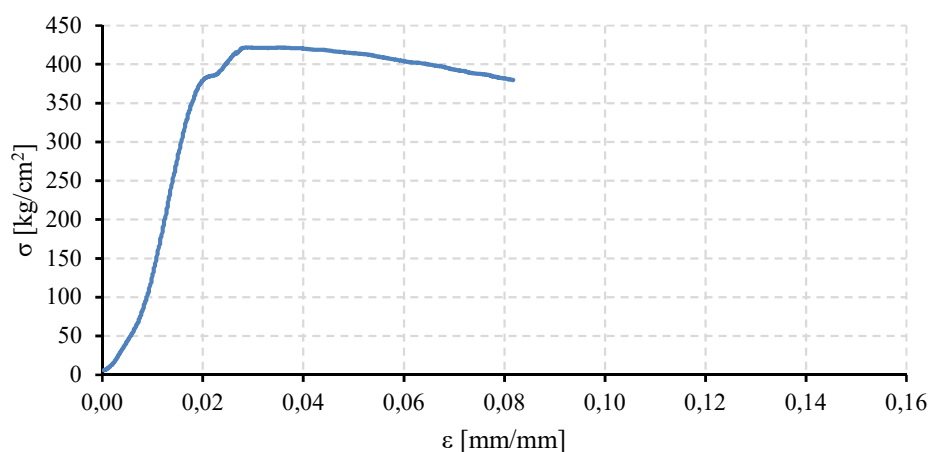


Fig. 5.32 Diagramma σ - ϵ (provino C1)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 383,15 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 421,69 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 379,62 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	18x21x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
14,48	383,15	0,0208	Elastica
15,94	421,59	0,0293	Massima
14,35	379,62	0,0818	Ultima

Tab. 5.25 Scheda riepilogativa provino C1

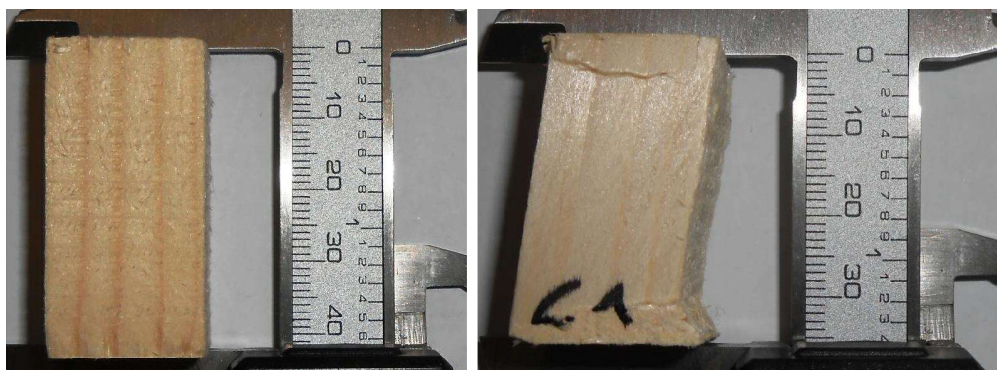


Fig. 5.33 Foto provino C1

Risultati provino C2

Il comportamento del *provino* C2 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.34) e tensione-deformazione (Fig. 5.35) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.26) e la documentazione fotografica (Fig. 5.36). Nel diagramma σ - ε la deformazione ε è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

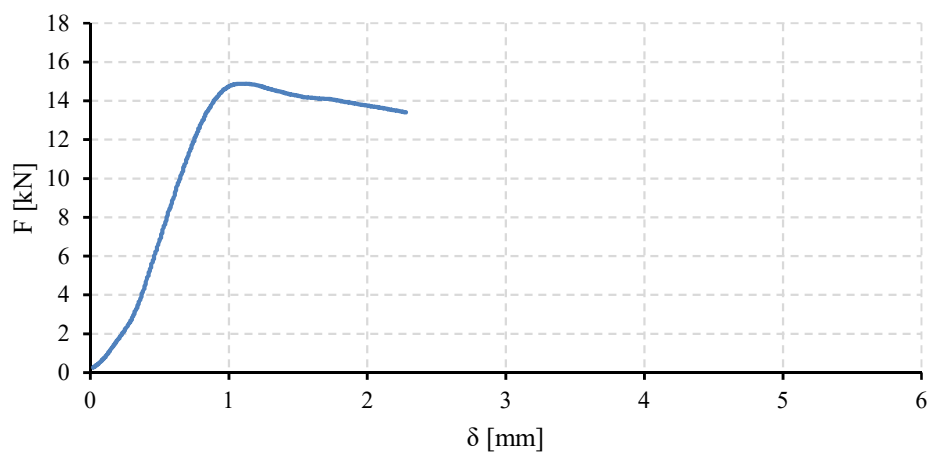


Fig. 5.34 Diagramma F-δ (provino C2)

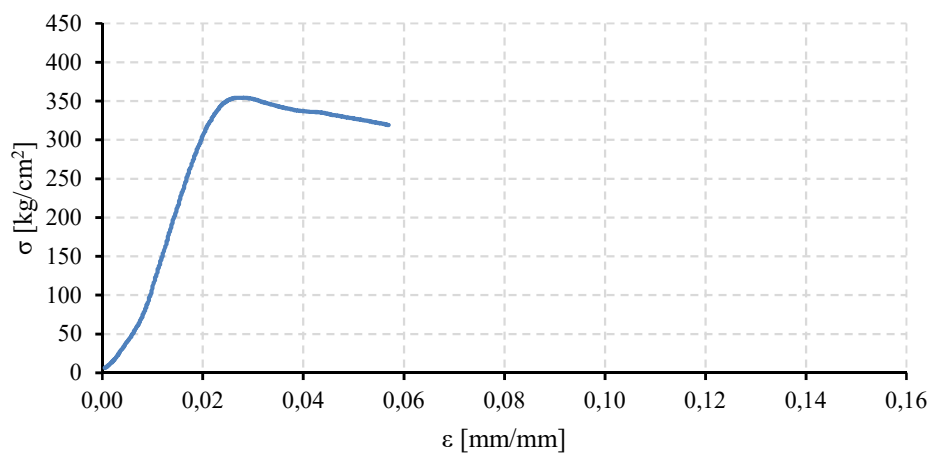


Fig. 5.35 Diagramma σ-ε (provino C2)

Come si può notare dal diagramma σ-ε, il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 322,52 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 354,45 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 319,15 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	21x20x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
13,55	322,52	0,0213	Elastica
14,89	354,45	0,0280	Massima
13,40	319,15	0,0570	Ultima

Tab. 5.26 Scheda riepilogativa provino C2

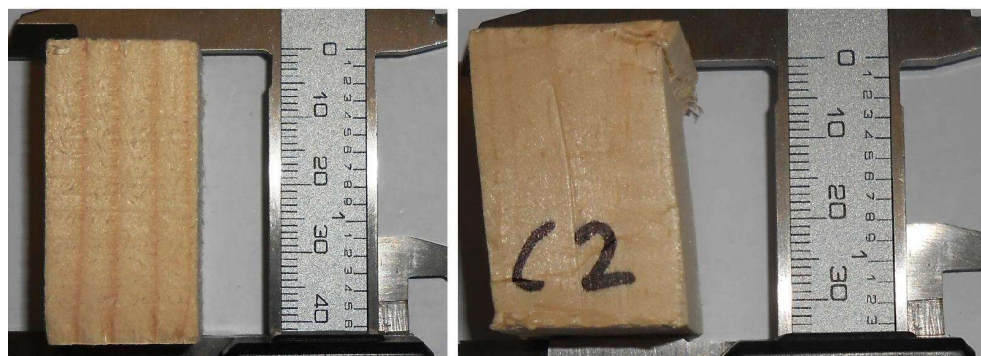


Fig. 5.36 Foto provino C2

Risultati provino C3

Il comportamento del *provino* C3 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.37) e tensione-deformazione (Fig. 5.38) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.27) e la documentazione fotografica (Fig. 5.39). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

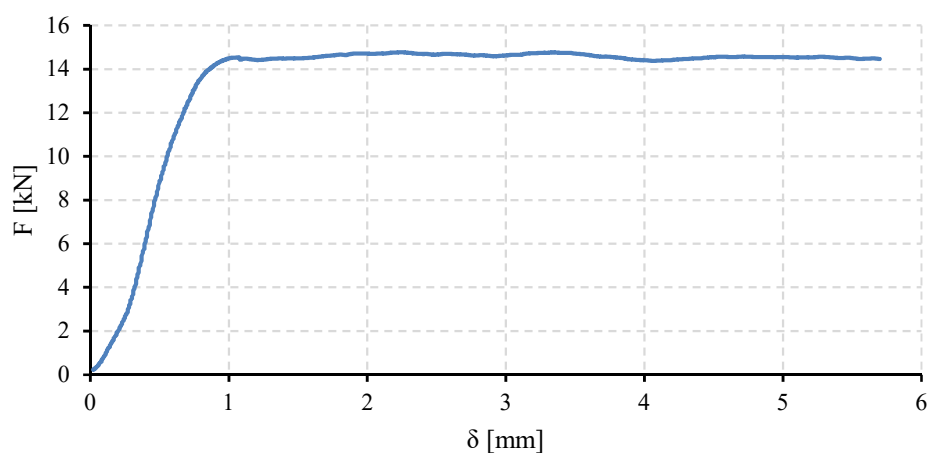


Fig. 5.37 Diagramma F - δ (provino C3)

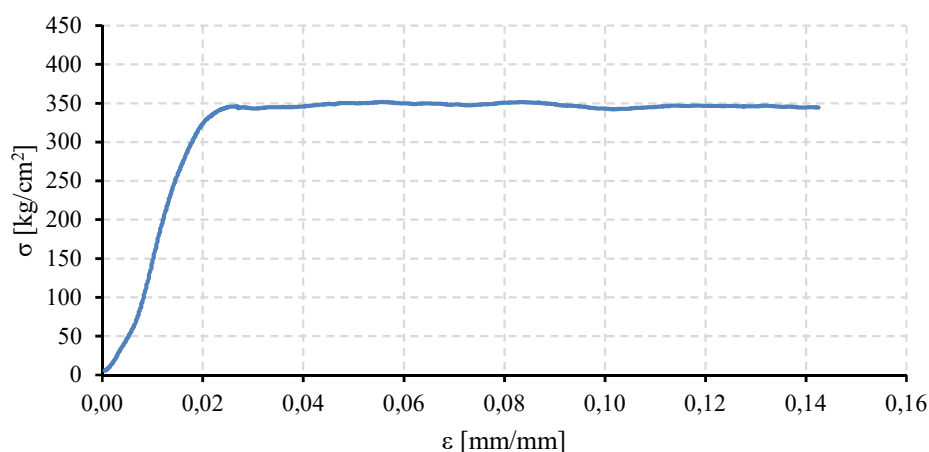


Fig. 5.38 Diagramma σ - ϵ (provino C3)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 331,29 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 351,74 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 344,32 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI PROVINO	21x20x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
13,91	331,29	0,0210	Elastica
14,77	351,55	0,0568	Massima
14,46	344,32	0,1425	Ultima

Tab. 5.27 Scheda riepilogativa provino C3

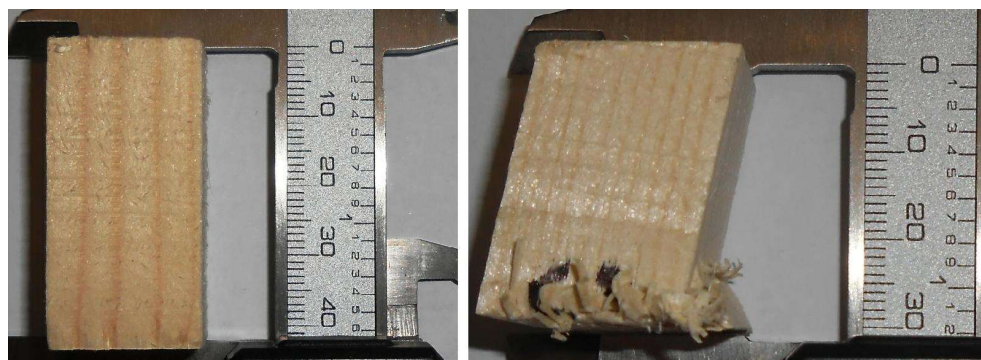


Fig 5.39 Foto provino C3

Risultati provino C4

Il comportamento del provino C4 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.40) e tensione-deformazione (Fig. 5.41) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.29) e la documentazione fotografica (Fig. 5.42). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

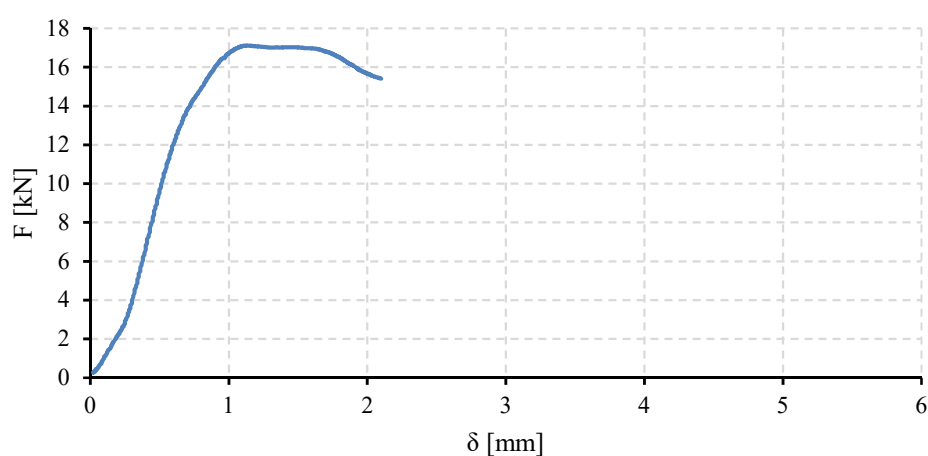


Fig. 5.40 Diagramma F-δ (provino C4)

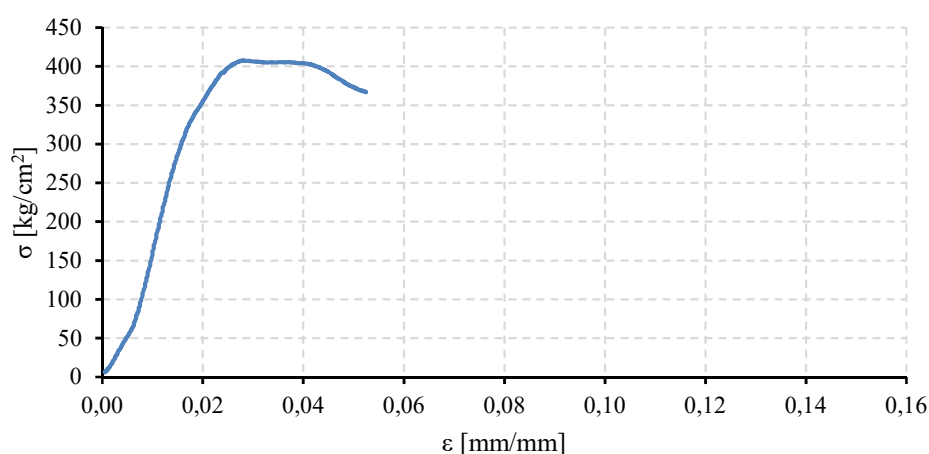


Fig. 5.41 Diagramma σ-ε (provino C4)

Come si può notare dal diagramma σ-ε, il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 334,33 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 407,49 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 366,77 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI PROVINO	21x21x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
14,04	334,33	0,0180	Elastica
17,11	407,35	0,0283	Massima
15,40	366,77	0,0525	Ultima

Tab. 5.29 Scheda riepilogativa provino C4



Fig. 5.42 Foto provino C4

Risultati provino C5

Il comportamento del *provino* C5 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.43) e tensione-deformazione (Fig. 5.44) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.30) e la documentazione fotografica (Fig. 5.45). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

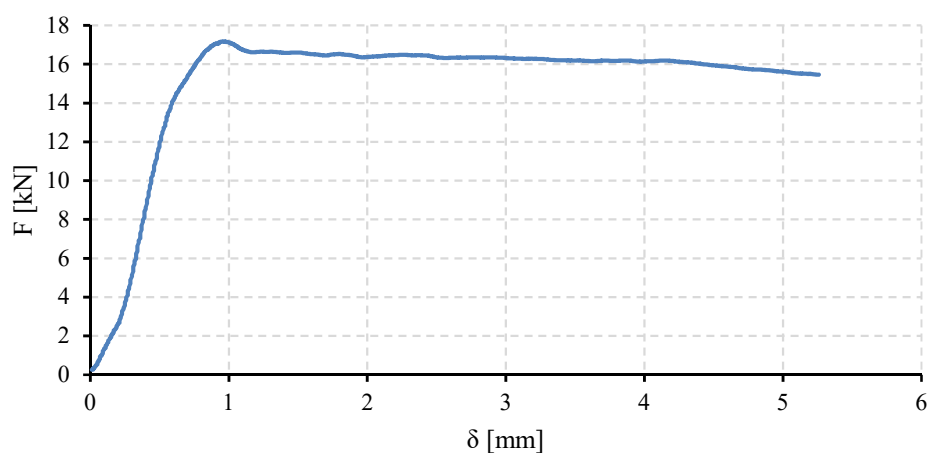


Fig. 5.43 Diagramma F - δ (provino C5)

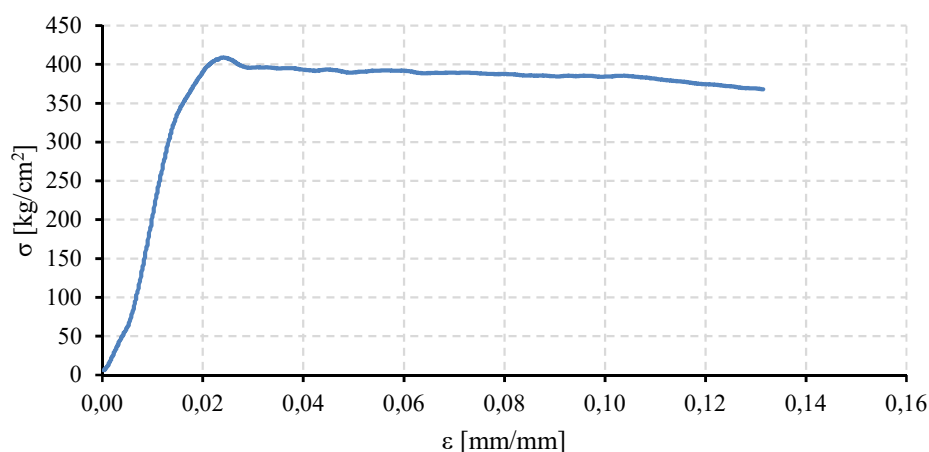


Fig. 5.44 Diagramma σ - ϵ (provino C5)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 339,60 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 408,89 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 367,94 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI PROVINO	20x21x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
14,26	339,60	0,0153	Elastica
17,17	408,75	0,0243	Massima
15,45	367,94	0,1315	Ultima

Tab. 5.30 Scheda riepilogativa provino C5



Fig. 5.45 Foto provino C5

Riepilogo dei risultati del Gruppo P.I.0.F

Al fine di ottenere un quadro riepilogativo delle prove del gruppo di provini P.I.0.F è utile effettuare una media di tutti i valori ottenuti e tracciare i diagrammi medi forza-spostamento (Fig. 5.46) e tensione-deformazione (Fig. 5.47). Questi diagrammi medi sono stati ottenuti a parità di deformazione. Quindi fissando una deformazione, si è effettuata la media dei valori di forza delle singole prove. Questa media non corrisponde alla media dei valori massimi di resistenza ottenuti dalle prove. Infatti nella scheda riepilogativa (Tab.5.31) viene riportato il valore medio massimo registrato dalle prove e il valore medio massimo grafico.

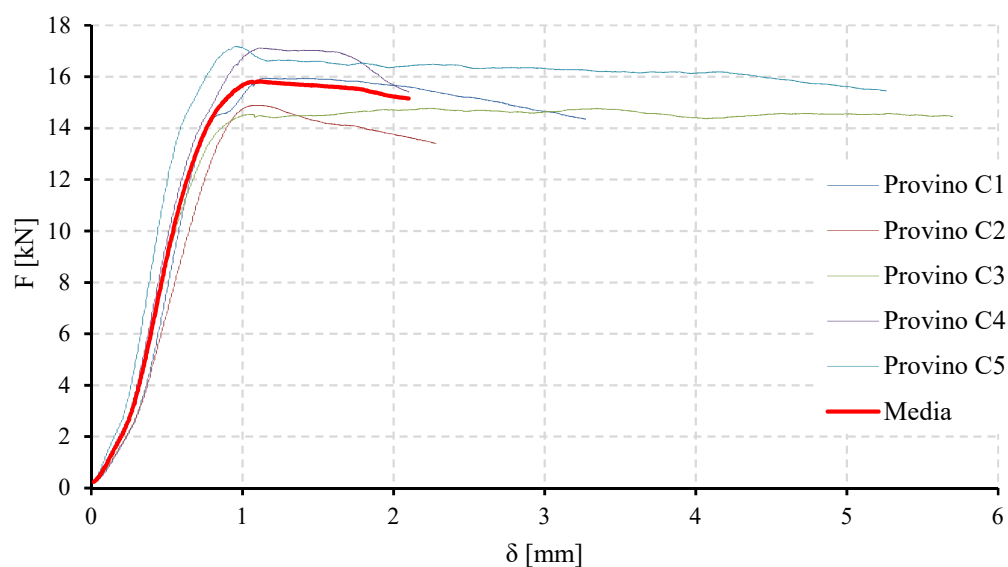


Fig. 5.46 Diagramma riepilogativo F - δ (gruppo provini P.I.0.F)

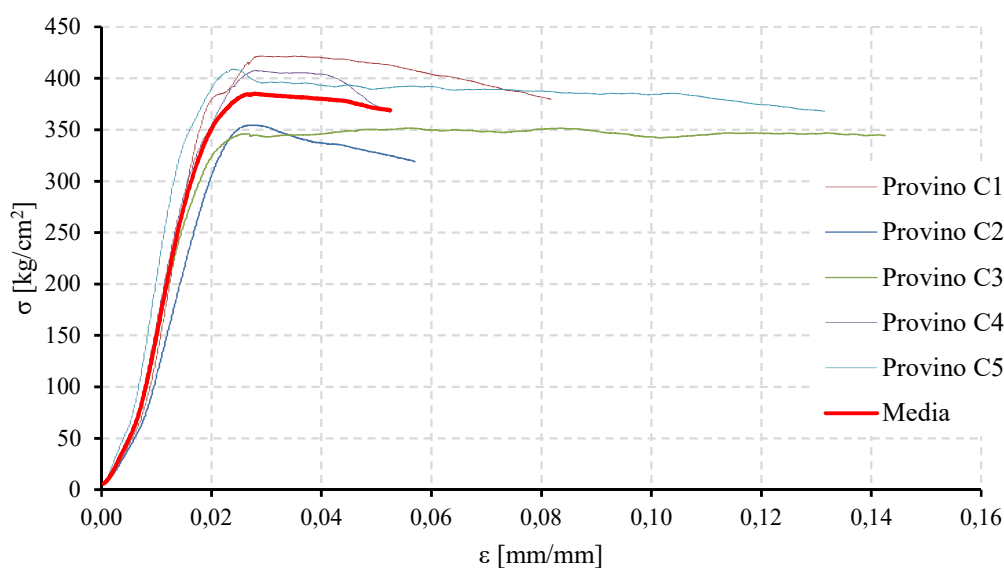


Fig. 5.47 Diagramma riepilogativo σ - ϵ (gruppo provini P.I.0.F)

Su uno stesso grafico, sono state riportate tutte le curve compresa la media, al fine di visualizzare in maniera chiara sia il rapporto esistente tra i risultati di ciascuna prova e il comportamento medio, sia il range entro il quale i valori si collocano.

Nella tabella che segue si sono riportati i valori notevoli delle prove, ovvero quelli al limite elastico, massimi e al limite ultimo (Tab. 5.44).

PROVINO	CARICO F [kN]	TENSIONE σ [kg/cm ²]	DEFORMAZIONE ϵ [mm/mm]	CONDIZIONE
C1	14,48	383,15	0,0208	Elastica
	15,94	421,59	0,0293	Massima
	14,35	379,62	0,0818	Ultima
C2	13,55	322,52	0,0213	Elastica
	14,89	354,45	0,0280	Massima
	13,40	319,15	0,0570	Ultima
C3	13,91	331,29	0,0210	Elastica
	14,77	351,55	0,0568	Massima
	14,46	344,32	0,1425	Ultima
C4	14,04	334,33	0,0180	Elastica
	17,11	407,35	0,0283	Massima
	15,40	366,77	0,0525	Ultima
C5	14,26	339,60	0,0153	Elastica
	17,17	408,75	0,0243	Massima
	15,45	367,94	0,1315	Ultima
Media dei massimi	15,98	388,74	0,0333	/
Media grafica massimi	15,82	381,61	0,0282	

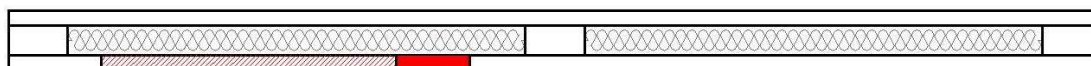
Tab. 5.31 Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.0.F

Risultati delle prove: gruppo P.I.1.F

Il gruppo P.I.1.F è costituito dai seguenti provini:

- provino C6 (dimensioni 40x21x17 mm);
- provino C7 (dimensioni 40x21x18 mm);
- provino C8 (dimensioni 40x18x18 mm);
- provino C9 (dimensioni 40x21x16 mm);
- provino C10 (dimensioni 40x18x18 mm).

Si riporta, di seguito, una figura illustrativa all'interno della quale viene specificata la porzione di legno strutturale da cui sono stati estratti i provini di legno netto.



Risultati provino C6

Il comportamento del *provino* C6 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.48) e tensione-deformazione (Fig. 5.49) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.32) e la documentazione fotografica (Fig. 5.50). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

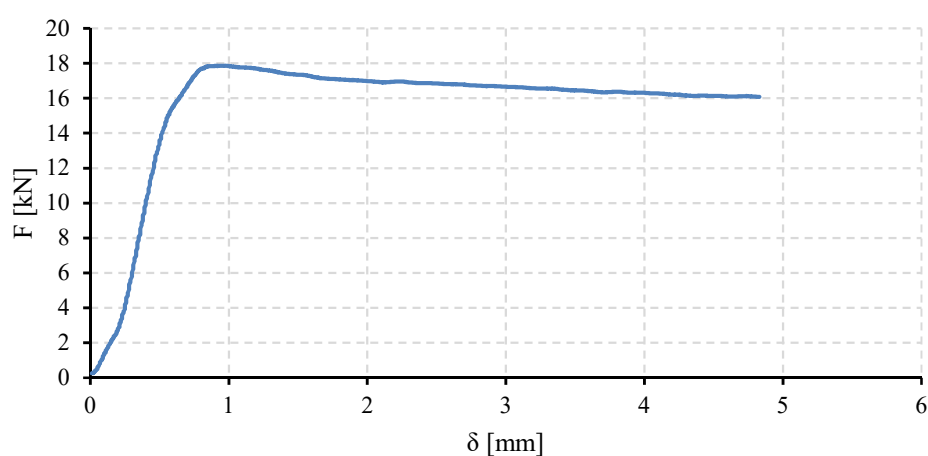


Fig. 5.48 Diagramma F - δ (provino C6)

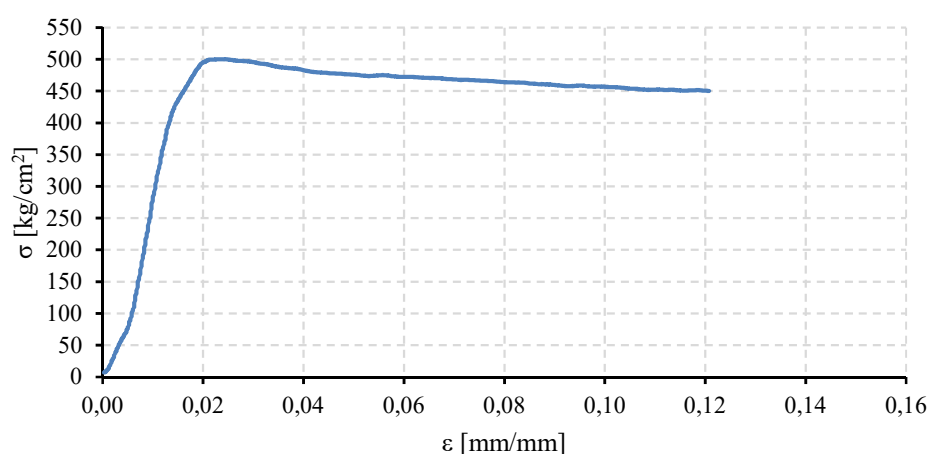


Fig. 5.49 Diagramma σ - ϵ (provino C6)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 438,31 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 500,38 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 450,28 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	21x17x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
15,65	438,31	0,0153	Elastica
17,86	500,16	0,0245	Massima
16,08	450,28	0,1208	Ultima

Tab. 5.32 Scheda riepilogativa provino C6

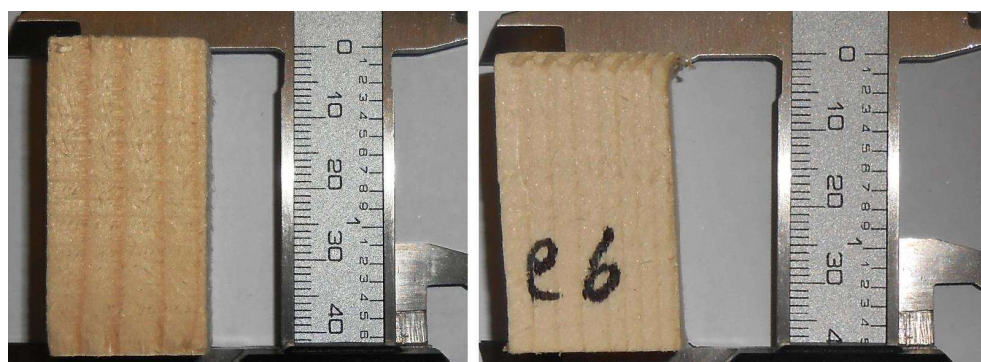


Fig. 5.50 Foto provino C6

Risultati provino C7

Il comportamento del *provino* C7 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.51) e tensione-deformazione (Fig. 5.52) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.33) e la documentazione fotografica (Fig. 5.53). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

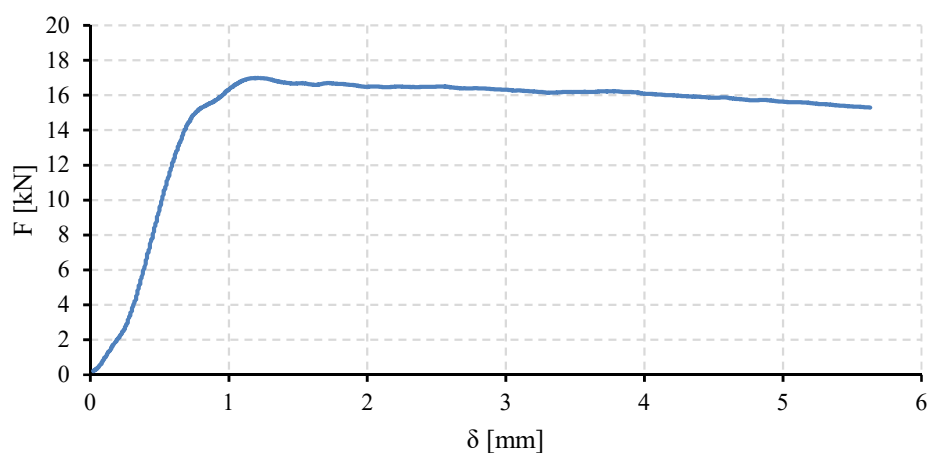


Fig. 5.51 Diagramma F- δ (provino C7)

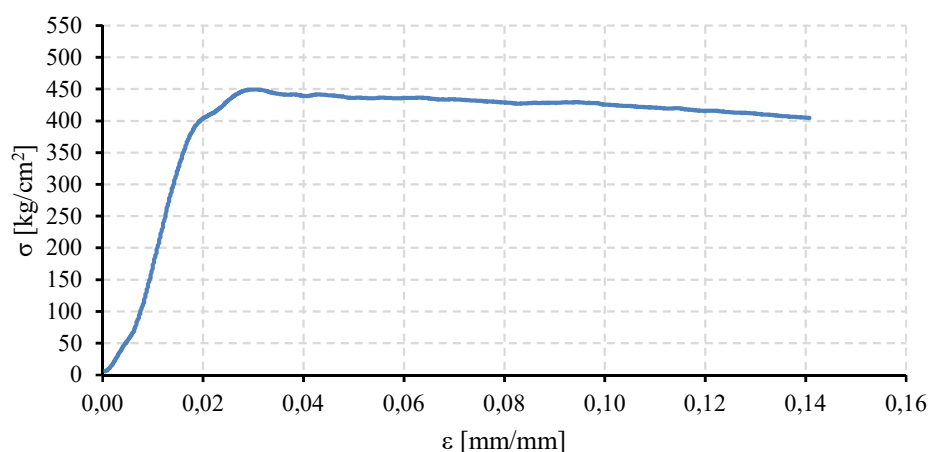


Fig. 5.52 Diagramma σ - ϵ (provino C7)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 400,78 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 449,49 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 404,57 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	21x18x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
15,15	400,78	0,0195	Elastica
16,99	449,49	0,0305	Massima
15,29	404,57	0,1408	Ultima

Tab. 5.33 Scheda riepilogativa provino C7



Fig. 5.53 Foto provino C7

Risultati provino C8

Il comportamento del *provino* C8 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.54) e tensione-deformazione (Fig. 5.55) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.34) e la documentazione fotografica (Fig. 5.56). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

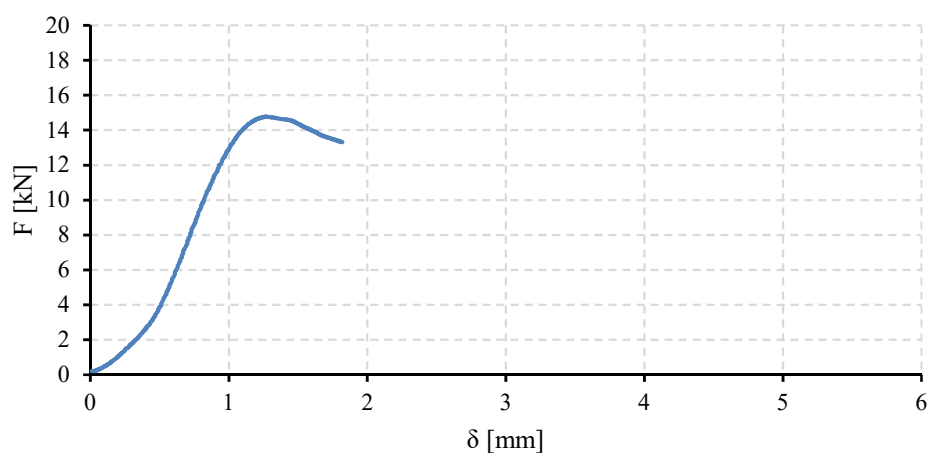


Fig. 5.54 Diagramma F - δ (provino C8)

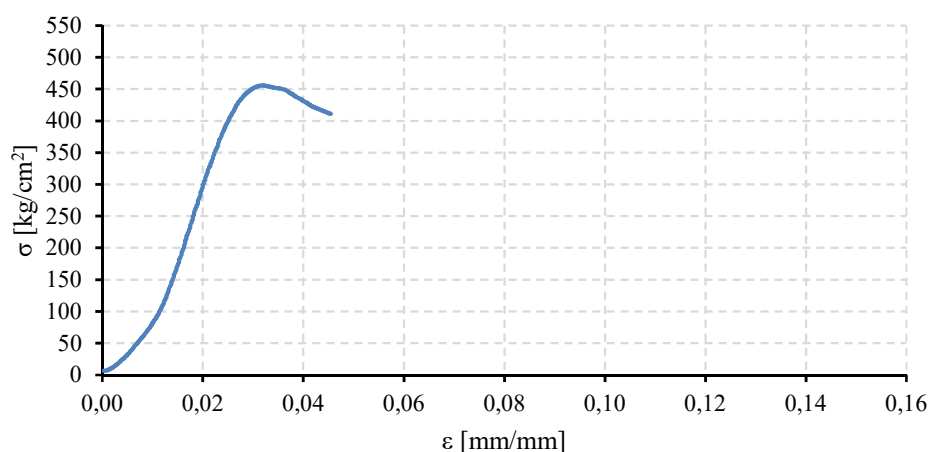


Fig. 5.55 Diagramma σ - ϵ (provino C8)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 418,20 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione

massima pari a 456,02 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 410,81 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	18x18x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
13,55	418,20	0,0263	Elastica
14,78	456,02	0,0318	Massima
13,31	410,81	0,0455	Ultima

Tab. 5.34 Scheda riepilogativa provino C8

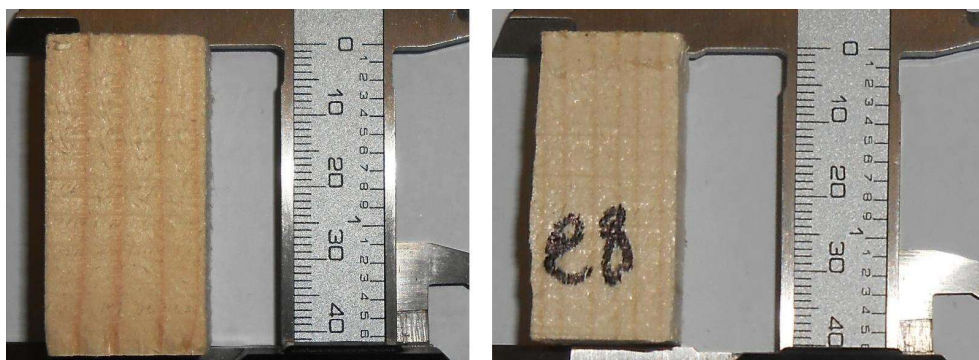


Fig. 5.56 Foto provino C8

Risultati provino C9

Il comportamento del *provino* C9 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.57) e tensione-deformazione (Fig. 5.58) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.35) e la documentazione fotografica (Fig. 5.59). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

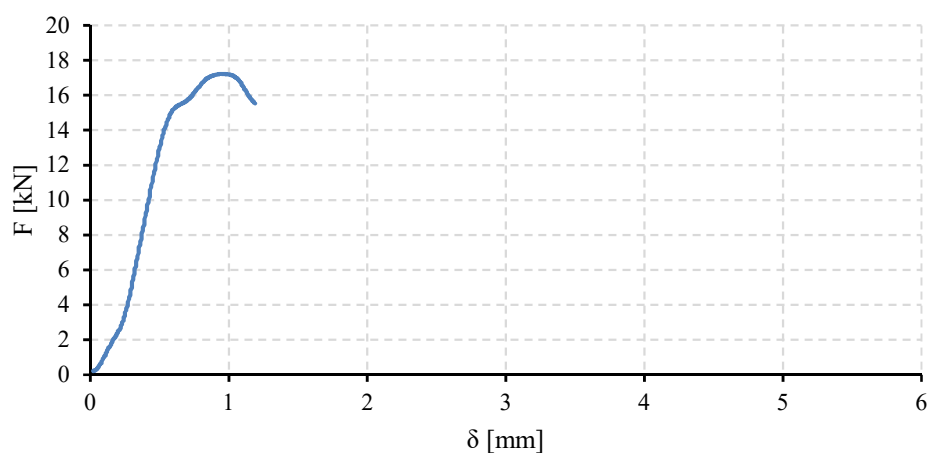


Fig. 5.57 Diagramma F - δ (provino C9)

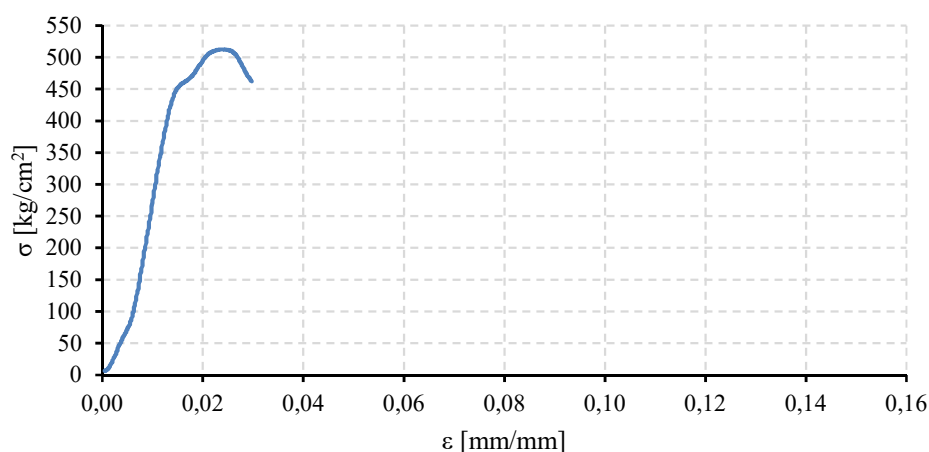


Fig. 5.58 Diagramma σ - ϵ (provino C9)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 454,91 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione

massima pari a 512,51 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 462,32 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	21x16x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
15,28	454,91	0,0153	Elastica
17,22	512,45	0,0243	Massima
15,53	462,32	0,0298	Ultima

Tab. 5.35 Scheda riepilogativa provino C9

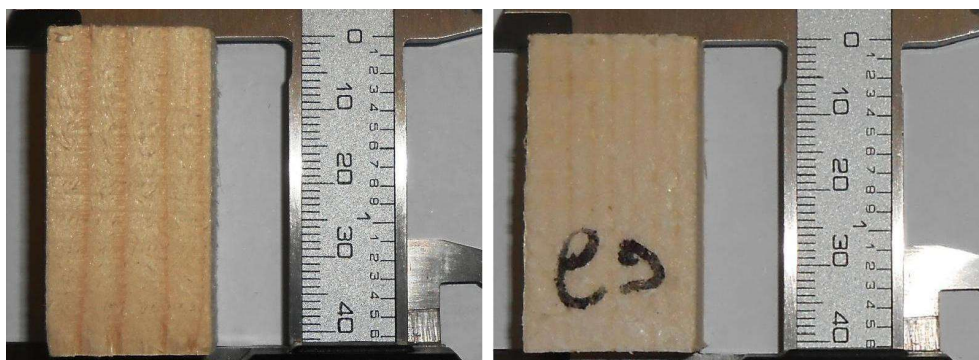


Fig. 5.59 Foto provino C9

Risultati provino C10

Il comportamento del provino C10 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.60) e tensione-deformazione (Fig. 5.61) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.36) e la documentazione fotografica (Fig. 5.62). Nel diagramma σ - ε la deformazione ε è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

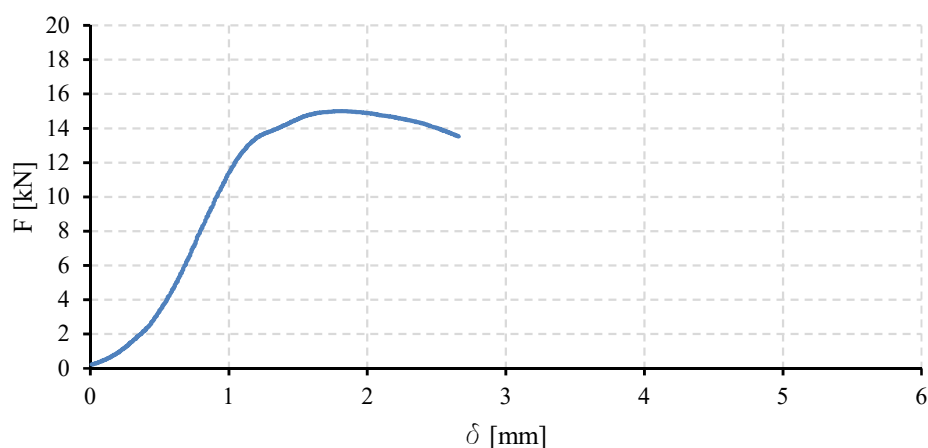


Fig. 5.60 Diagramma F - δ (provino C10)

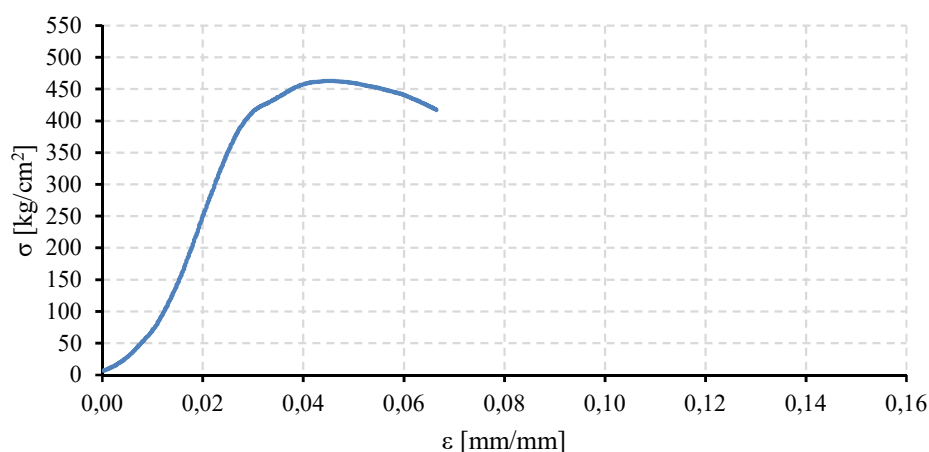


Fig. 5.61 Diagramma σ - ε (provino C10)

Come si può notare dal diagramma σ - ε , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 399,92 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 463,16 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 417,17 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	18x18x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
12,96	399,92	0,0283	Elastica
15,01	463,16	0,0455	Massima
13,52	417,17	0,0665	Ultima

Tab. 5.36 Scheda riepilogativa provino C10

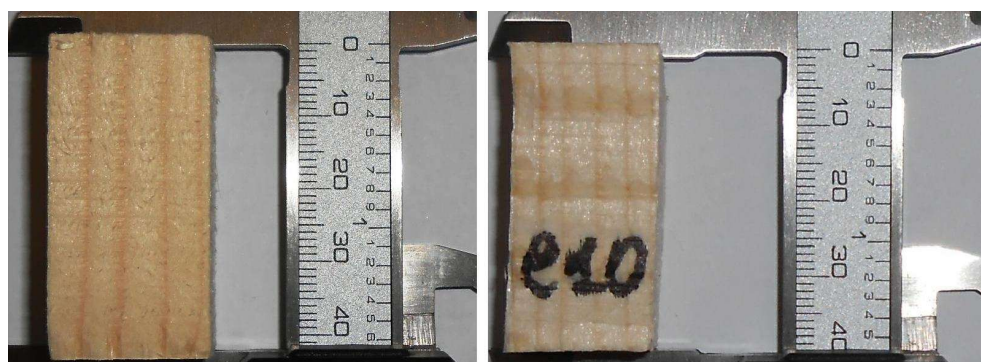


Fig. 5.62 Foto provino C10

Riepilogo dei risultati del Gruppo P.I.1.F

Al fine di ottenere un quadro riepilogativo delle prove del gruppo di provini P.I.1.F è utile effettuare una media di tutti i valori ottenuti e tracciare i diagrammi medi forza-spostamento (Fig. 5.63) e tensione-deformazione (Fig. 5.64). Questi diagrammi medi sono stati ottenuti a parità di deformazione. Quindi fissando una deformazione, si è effettuata la media dei valori di forza delle singole prove. Questa media non corrisponde alla media dei valori massimi di resistenza ottenuti dalle prove. Infatti nella scheda riepilogativa (Tab.5.37) viene riportato il valore medio massimo registrato dalle prove e il valore medio massimo grafico.

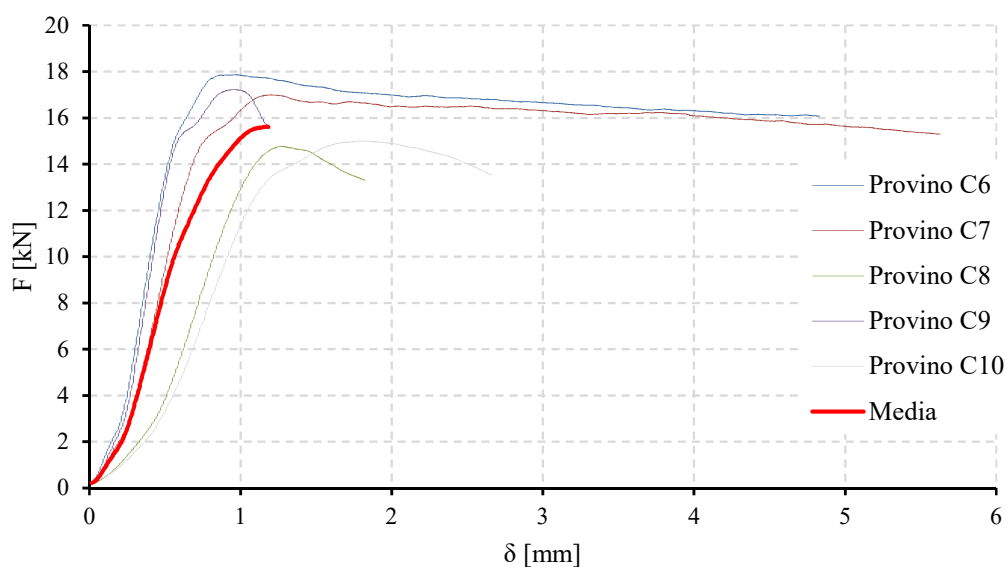


Fig. 5.63 Diagramma riepilogativo F - δ (gruppo provini P.I.1.F)

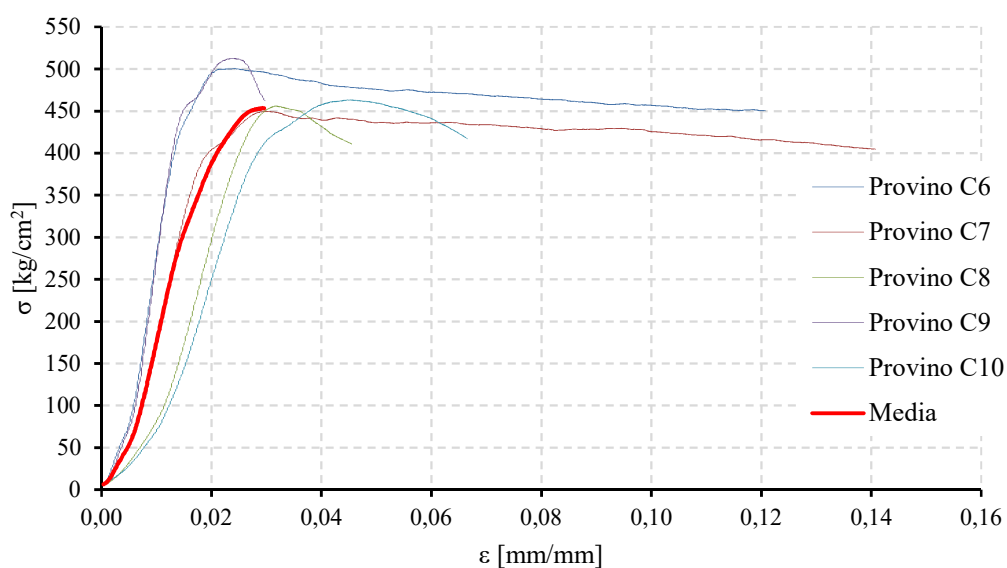


Fig. 5.64 Diagramma riepilogativo σ - ϵ (gruppo provini P.I.1.F)

Su uno stesso grafico, sono state riportate tutte le curve compresa la media, al fine di visualizzare in maniera chiara sia il rapporto esistente tra i risultati di ciascuna prova e il comportamento medio, sia il range entro il quale i valori si collocano.

Nella tabella che segue si sono riportati i valori notevoli delle prove, ovvero quelli al limite elastico, massimi e al limite ultimo (Tab. 5.37).

PROVINO	CARICO F [kN]	TENSIONE σ [kg/cm ²]	DEFORMAZIONE ϵ [mm/mm]	CONDIZIONE
C6	15,65	438,31	0,0153	Elastica
	17,86	500,16	0,0245	Massima
	16,08	450,28	0,1208	Ultima
C7	15,15	400,78	0,0195	Elastica
	16,99	449,49	0,0305	Massima
	15,29	404,57	0,1408	Ultima
C8	13,55	418,20	0,0263	Elastica
	14,78	456,02	0,0318	Massima
	13,31	410,81	0,0455	Ultima
C9	15,28	454,91	0,0153	Elastica
	17,22	512,45	0,0243	Massima
	15,53	462,32	0,0298	Ultima
C10	12,96	399,92	0,0283	Elastica
	15,01	463,16	0,0455	Massima
	13,52	417,17	0,0665	Ultima
Media dei massimi	16,37	476,26	0,0313	/
Media grafica massimi	15,62	453,43	0,0296	

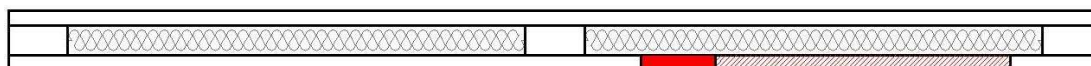
Tab. 5.37 Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.1.F

Risultati delle prove: gruppo P.I.2.F

Il gruppo P.I.2.F è costituito dai seguenti provini:

- provino C11 (dimensioni 40x20x21 mm);
- provino C12 (dimensioni 40x20x20 mm);
- provino C13 (dimensioni 40x20x20 mm);
- provino C14 (dimensioni 40x21x21 mm);
- provino C15 (dimensioni 40x21x21 mm).

Si riporta, di seguito, una figura illustrativa all'interno della quale viene specificata la porzione di legno strutturale da cui sono stati estratti i provini di legno netto.



Risultati provino C11

Il comportamento del provino C11 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.65) e tensione-deformazione (Fig. 5.66) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.38) e la documentazione fotografica (Fig. 5.67). Nel diagramma σ - ε la deformazione ε è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

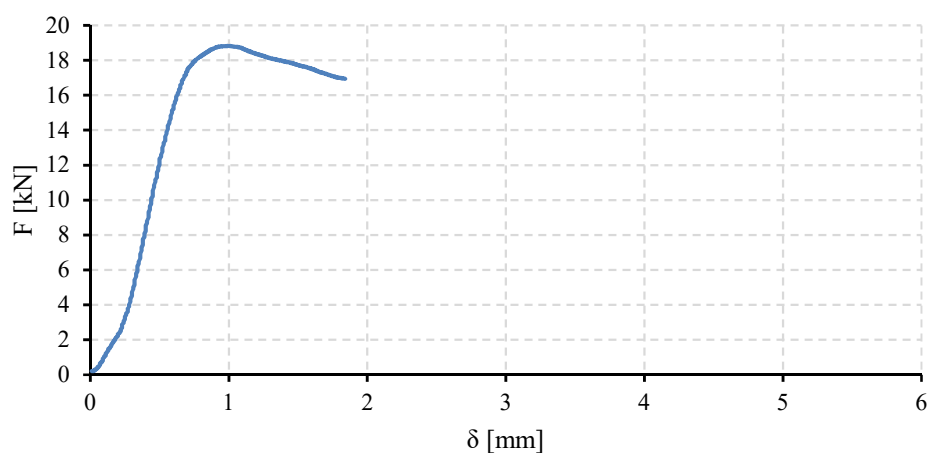


Fig. 5.65 Diagramma F- δ (provino C11)

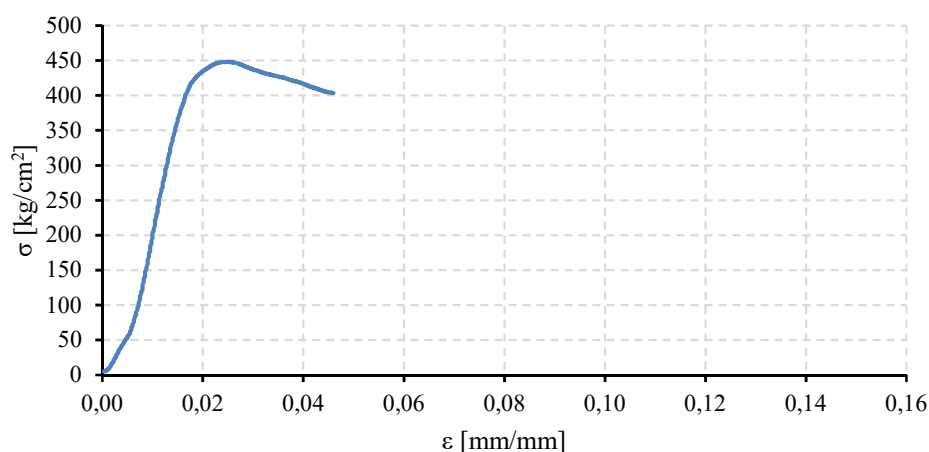


Fig. 5.66 Diagramma σ - ε (provino C11)

Come si può notare dal diagramma σ - ε , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 419,06 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 448,08 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 403,52 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	21x20x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
17,60	419,06	0,0178	Elastica
18,82	448,01	0,0253	Massima
16,95	403,52	0,0460	Ultima

Tab. 5.38 Scheda riepilogativa provino C11



Fig. 5.67 Foto provino C11

Risultati provino C12

Il comportamento del provino C12 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.68) e tensione-deformazione (Fig. 5.69) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.39) e la documentazione fotografica (Fig. 5.70). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

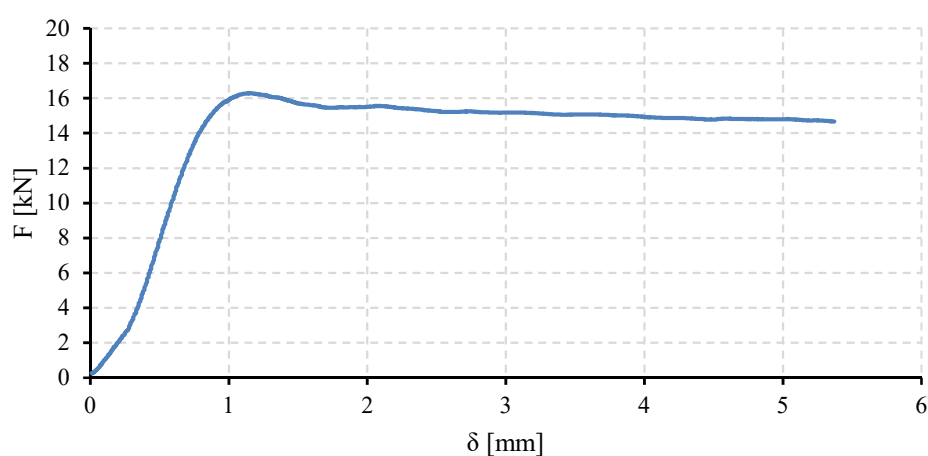


Fig. 5.68 Diagramma F- δ (provino C12)

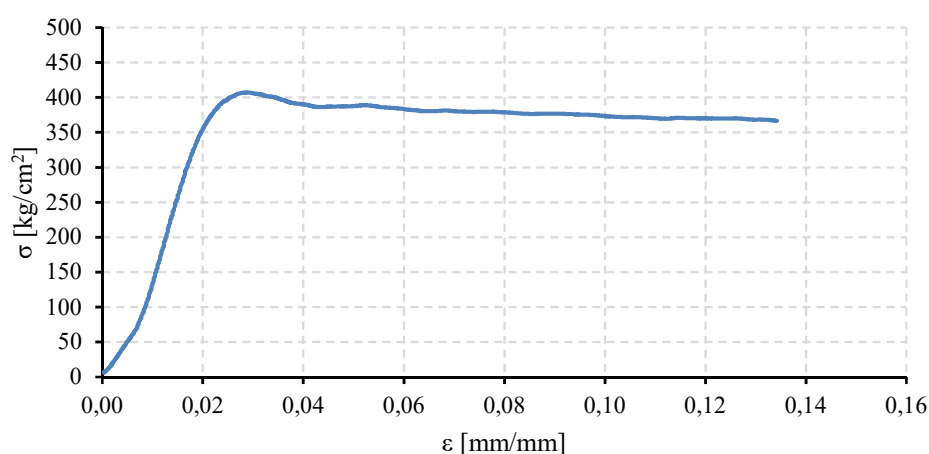


Fig. 5.69 Diagramma σ - ϵ (provino C12)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 342,17 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 407,17 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 366,58 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	20x20x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
13,68	342,17	0,0190	Elastica
16,29	407,17	0,0290	Massima
14,66	366,58	0,1343	Ultima

Tab. 5.39 Scheda riepilogativa provino C12



Fig. 5.70 Foto provino C12

Risultati provino C13

Il comportamento del provino C13 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.71) e tensione-deformazione (Fig. 5.72) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.40) e la documentazione fotografica (Fig. 5.73). Nel diagramma σ - ε la deformazione ε è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

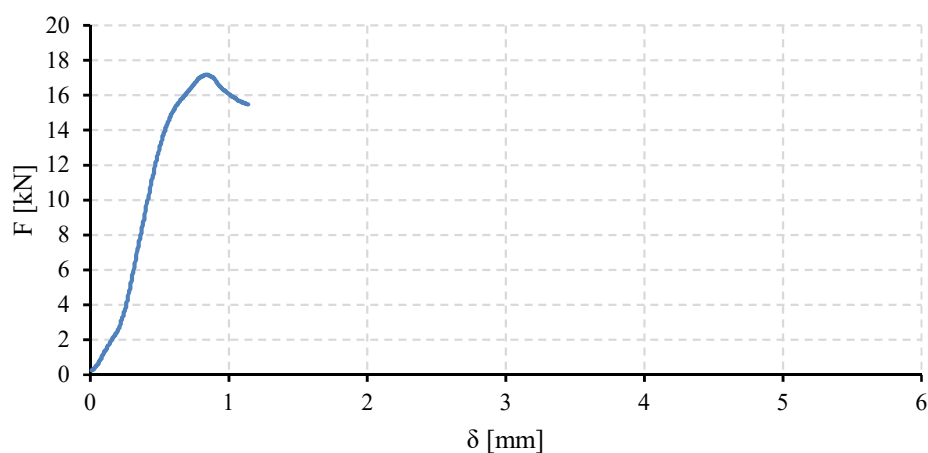


Fig. 5.71 Diagramma F- δ (provino C13)

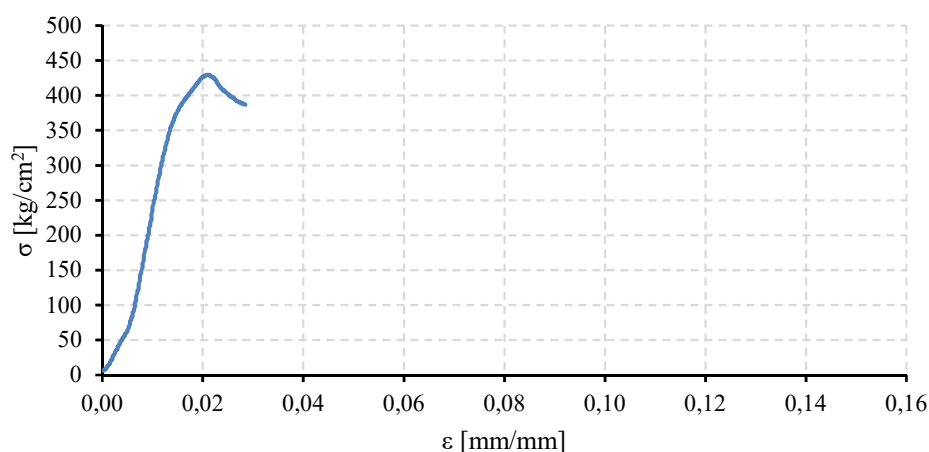


Fig. 5.72 Diagramma σ - ε (provino C13)

Come si può notare dal diagramma σ - ε , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 393,94 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 429,72 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 386,88 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	20x20x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
15,75	393,94	0,0163	Elastica
17,19	429,72	0,0210	Massima
15,48	386,88	0,0285	Ultima

Tab. 5.40 Scheda riepilogativa provino C13



Fig. 5.73 Foto provino C13

Risultati provino C14

Il comportamento del provino C14 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.74) e tensione-deformazione (Fig. 5.75) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.41) e la documentazione fotografica (Fig. 5.76). Nel diagramma σ - ε la deformazione ε è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

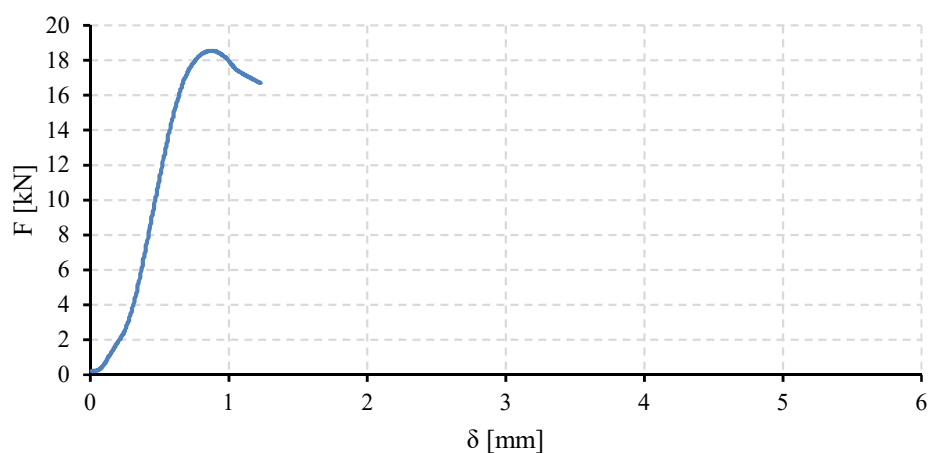


Fig. 5.74 Diagramma F- δ (provino C14)

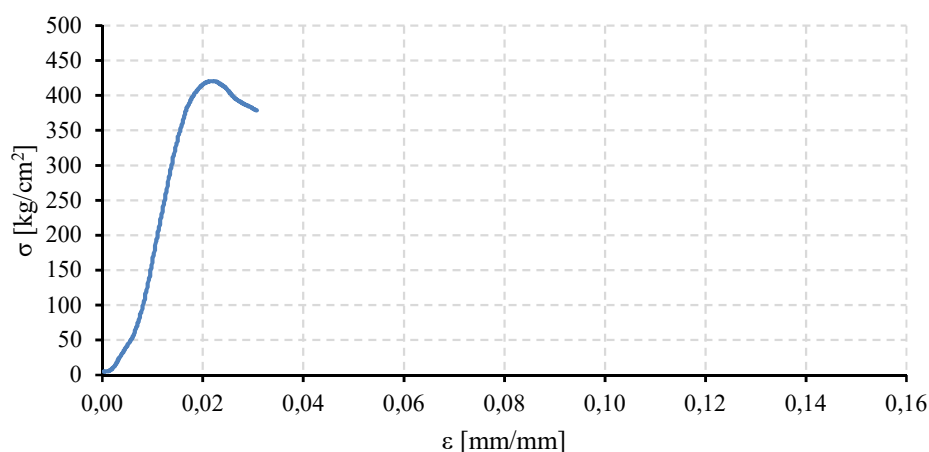


Fig. 5.75 Diagramma σ - ε (provino C14)

Come si può notare dal diagramma σ - ε , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione massima pari a 420,32 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 378,57 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	21x21x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
18,54	420,32	0,0223	Elastica
18,54	420,32	0,0223	Massima
16,69	378,57	0,0308	Ultima

Tab. 5.41 Scheda riepilogativa provino C14



Fig. 5.76 Foto provino C14

Risultati provino C15

Il comportamento del *provino* C15 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.77) e tensione-deformazione (Fig. 5.78) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.42) e la documentazione fotografica (Fig. 5.79). Nel diagramma σ - ε la deformazione ε è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

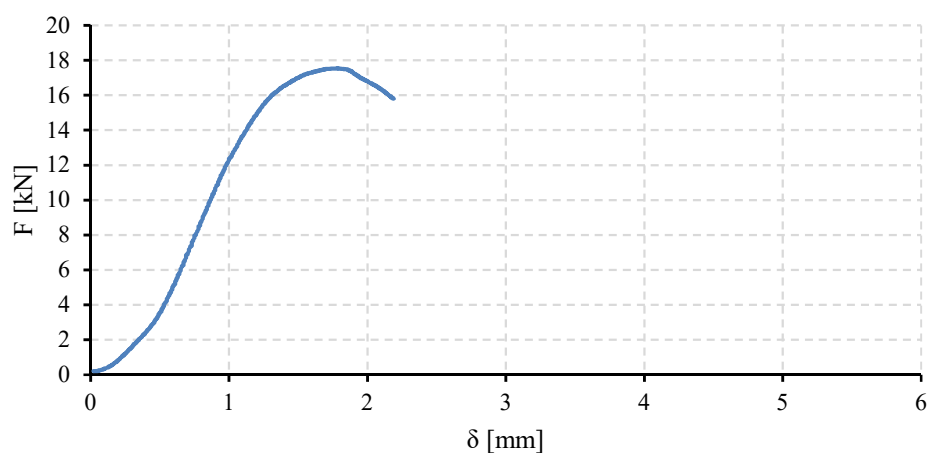


Fig. 5.77 Diagramma F- δ (provino C15)

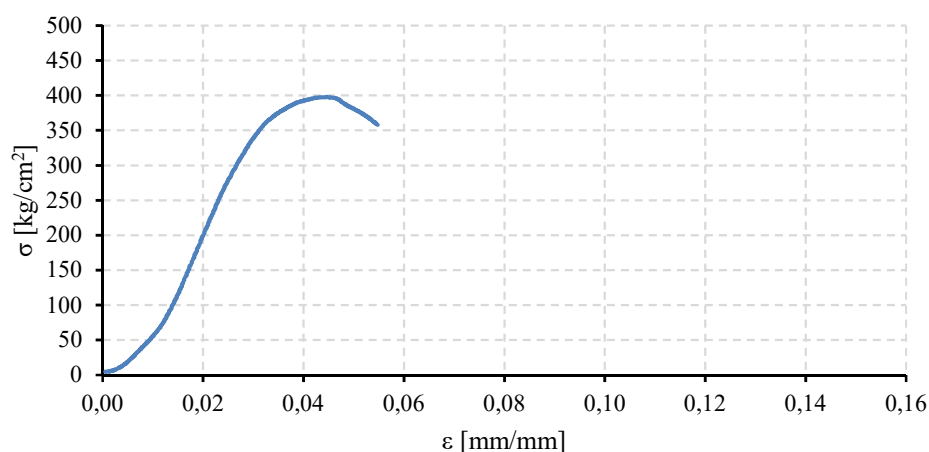


Fig. 5.78 Diagramma σ - ε (provino C15)

Come si può notare dal diagramma σ - ε , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 369,85 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 397,69 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 358,20 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	21x21x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
16,31	369,85	0,0340	Elastica
17,54	397,69	0,0448	Massima
15,80	358,20	0,0548	Ultima

Tab. 5.42 Scheda riepilogativa provino C15

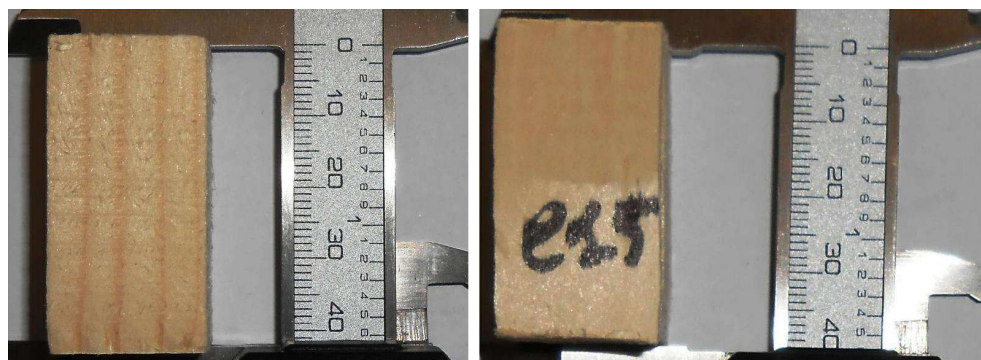


Fig. 5.79 Foto provino C15

Riepilogo dei risultati Gruppo P.I.2.F

Al fine di ottenere un quadro riepilogativo delle prove del gruppo di provini P.I.2.F è utile effettuare una media di tutti i valori ottenuti e tracciare i diagrammi medi forza-spostamento (Fig. 5.80) e tensione-deformazione (Fig. 5.81). Questi diagrammi medi sono stati ottenuti a parità di deformazione. Quindi fissando una deformazione, si è effettuata la media dei valori di forza delle singole prove. Questa media non corrisponde alla media dei valori massimi di resistenza ottenuti dalle prove. Infatti nella scheda riepilogativa (Tab.5.43) viene riportato il valore medio massimo registrato dalle prove e il valore medio massimo grafico.

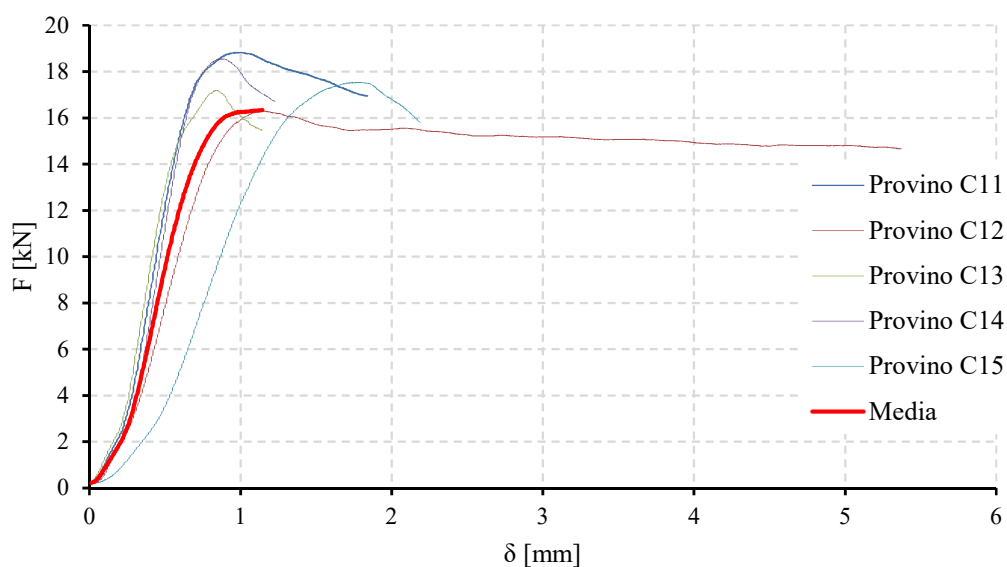


Fig. 5.80 Diagramma riepilogativo F - δ (gruppo provini P.I.2.F)

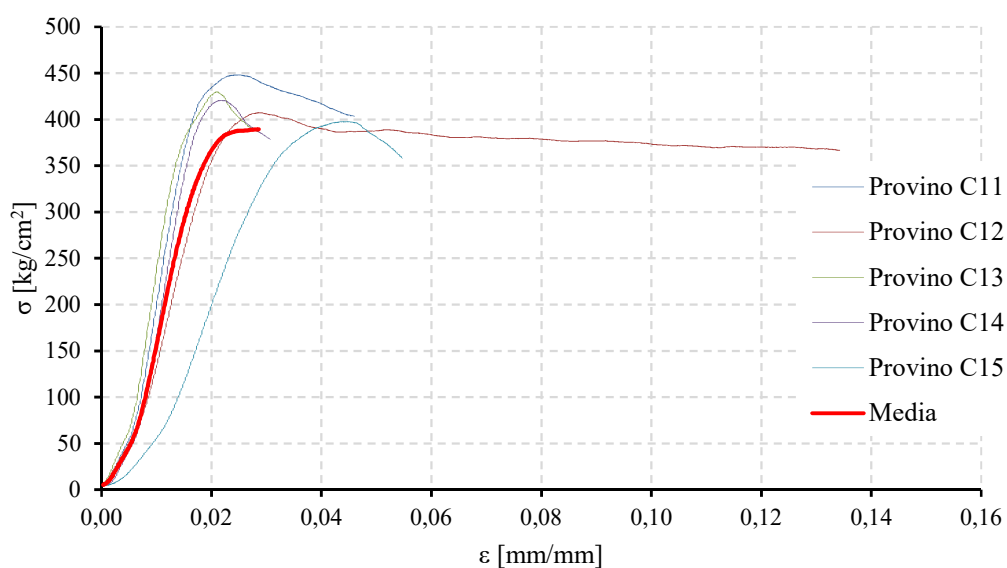


Fig. 5.81 Diagramma riepilogativo σ - ϵ (gruppo provini P.I.2.F)

Su uno stesso grafico, sono state riportate tutte le curve compresa la media, al fine di visualizzare in maniera chiara sia il rapporto esistente tra i risultati di ciascuna prova e il comportamento medio, sia il range entro il quale i valori si collocano.

Nella tabella che segue si sono riportati i valori notevoli delle prove, ovvero quelli al limite elastico, massimi e al limite ultimo (Tab. 5.43).

PROVINO	CARICO F [kN]	TENSIONE σ [kg/cm ²]	DEFORMAZIONE ϵ [mm/mm]	CONDIZIONE
C11	17,60	419,06	0,0178	Elastica
	18,82	448,01	0,0253	Massima
	16,95	403,52	0,0460	Ultima
C12	13,68	342,17	0,0190	Elastica
	16,29	407,17	0,0290	Massima
	14,66	366,58	0,1343	Ultima
C13	15,75	393,94	0,0163	Elastica
	17,19	429,72	0,0210	Massima
	15,48	386,88	0,0285	Ultima
C14	18,54	420,32	0,0223	Elastica
	18,54	420,32	0,0223	Massima
	16,69	378,57	0,0308	Ultima
C15	16,31	369,85	0,0340	Elastica
	17,54	397,69	0,0448	Massima
	15,80	358,20	0,0548	Ultima
Media dei massimi	17,68	420,58	0,0286	/
Media grafica massimi	16,34	389,49	0,0286	

Tab. 5.43 Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.2.F

Risultati delle prove: gruppo P.I.3.F

Il gruppo P.I.3.F è costituito dai seguenti provini:

- provino C16 (dimensioni 40x20x19 mm);
- provino C17 (dimensioni 40x20x19 mm);
- provino C18 (dimensioni 40x19x20 mm);
- provino C19 (dimensioni 40x20x19 mm);
- provino C20 (dimensioni 40x20x19 mm).

Si riporta, di seguito, una figura illustrativa all'interno della quale viene specificata la porzione di legno strutturale da cui sono stati estratti i provini di legno netto.



Risultati provino C16

Il comportamento del provino C16 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.82) e tensione-deformazione (Fig. 5.83) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.44) e la documentazione fotografica (Fig. 5.84). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

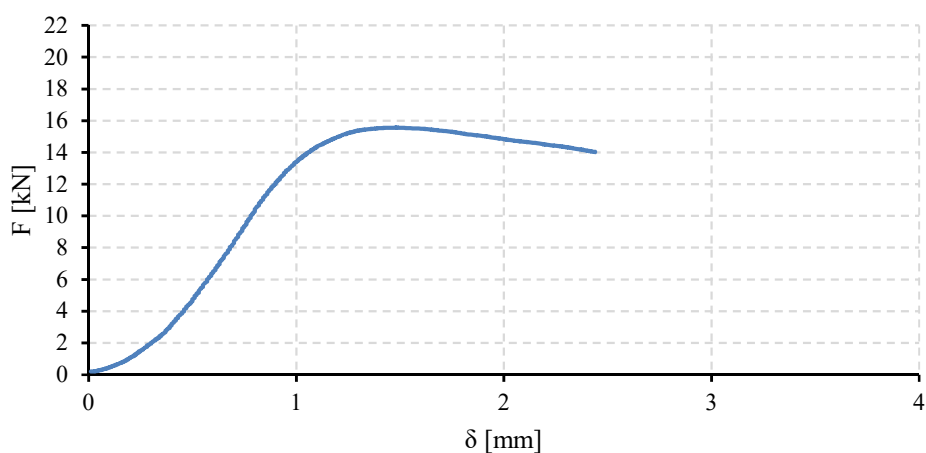


Fig. 5.82 Diagramma F- δ (provino C16)

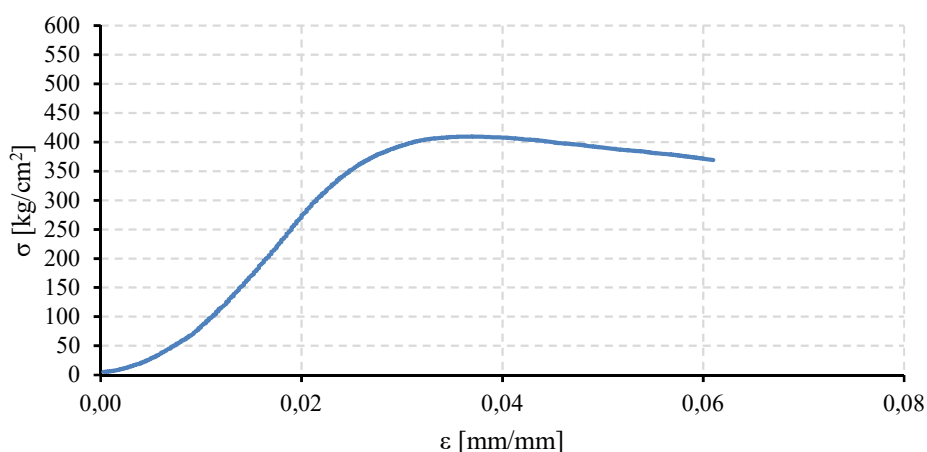


Fig. 5.83 Diagramma σ - ϵ (provino C16)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 377,52 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 409,61 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 368,95 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	20x19x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
14,35	377,52	0,0275	Elastica
15,57	409,61	0,0370	Massima
14,02	368,95	0,0610	Ultima

Tab. 5.44 Scheda riepilogativa provino C16



Fig. 5.84 Foto provino C16

Risultati provino C17

Il comportamento del *provino C17* è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.85) e tensione-deformazione (Fig. 5.86) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.45) e la documentazione fotografica (Fig. 5.87). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

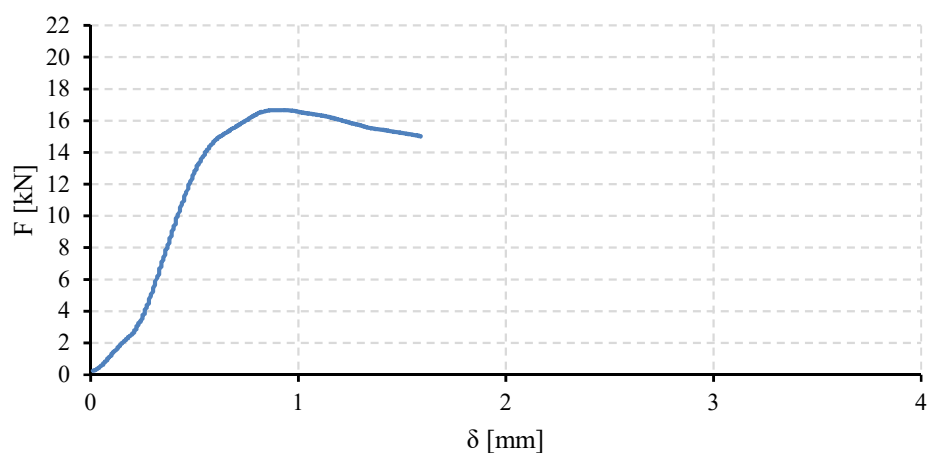


Fig. 5.85 Diagramma F - δ (provino C17)

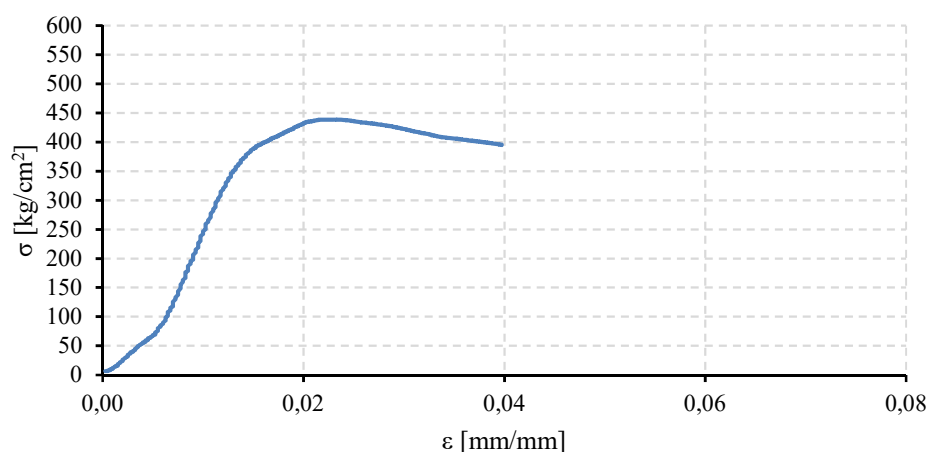


Fig. 5.86 Diagramma σ - ϵ (provino C17)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 387,81 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 438,61 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 395,06 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	20x19x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
14,74	387,81	0,0150	Elastica
16,67	438,61	0,0233	Massima
15,01	395,06	0,0398	Ultima

Tab. 5.45 Scheda riepilogativa provino C17

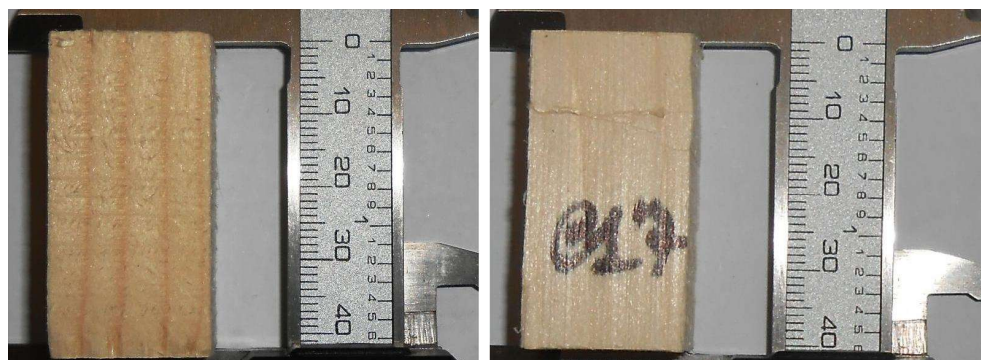


Fig. 5.87 Foto provino C17

Risultati provino C18

Il comportamento del *provino C18* è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.88) e tensione-deformazione (Fig. 5.89) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.46) e la documentazione fotografica (Fig. 5.90). Nel diagramma σ - ε la deformazione ε è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

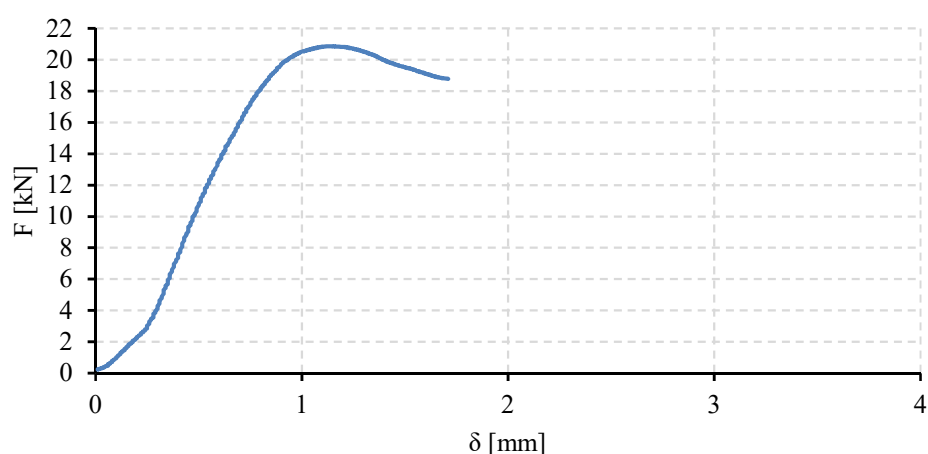


Fig. 5.88 Diagramma F - δ (provino C18)

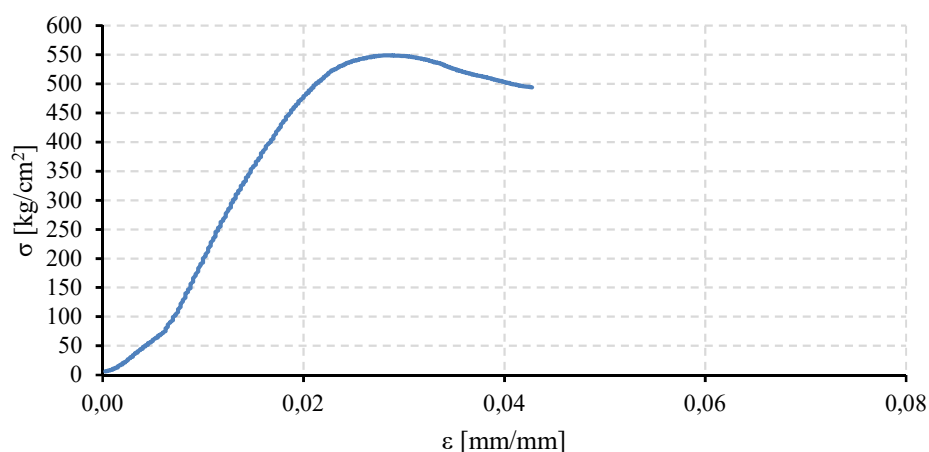


Fig. 5.89 Diagramma σ - ε (provino C18)

Come si può notare dal diagramma σ - ε , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 478,81 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 548,89 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 494,19 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	20x19x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
18,19	478,81	0,0200	Elastica
20,86	548,89	0,0288	Massima
18,78	494,19	0,0428	Ultima

Tab. 5.46 Scheda riepilogativa provino C18

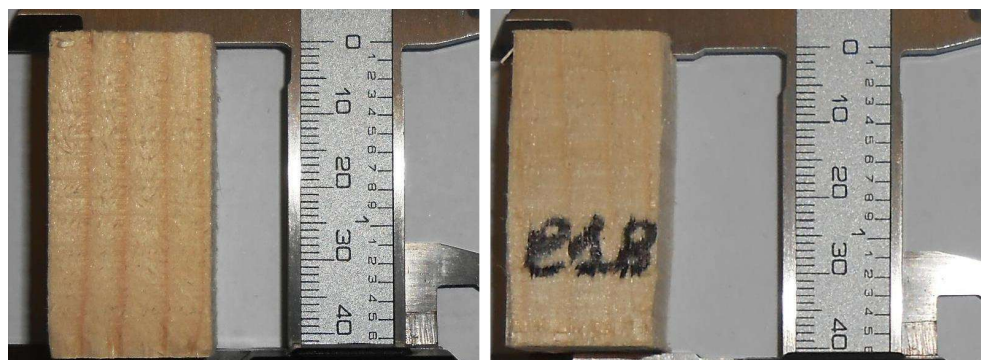


Fig. 5.90 Foto provino C18

Risultati provino C19

Il comportamento del provino C19 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.91) e tensione-deformazione (Fig. 5.92) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.47) e la documentazione fotografica (Fig. 5.93). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

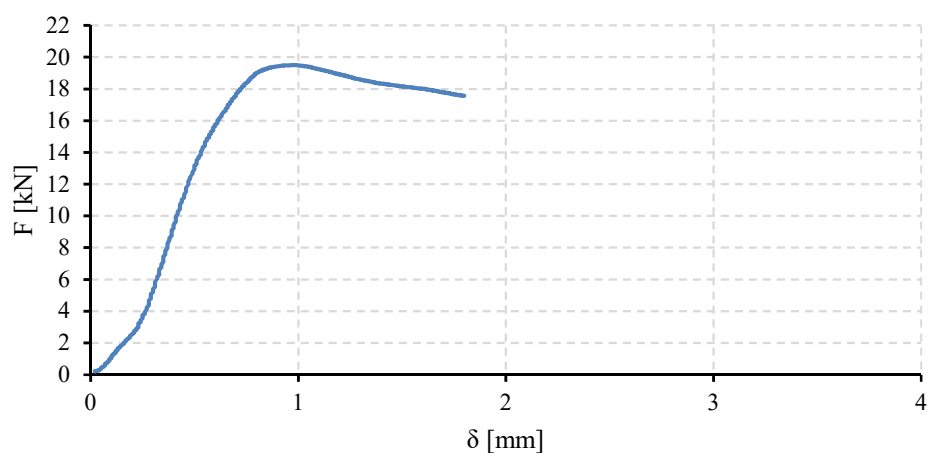


Fig. 5.91 Diagramma F- δ (provino C19)

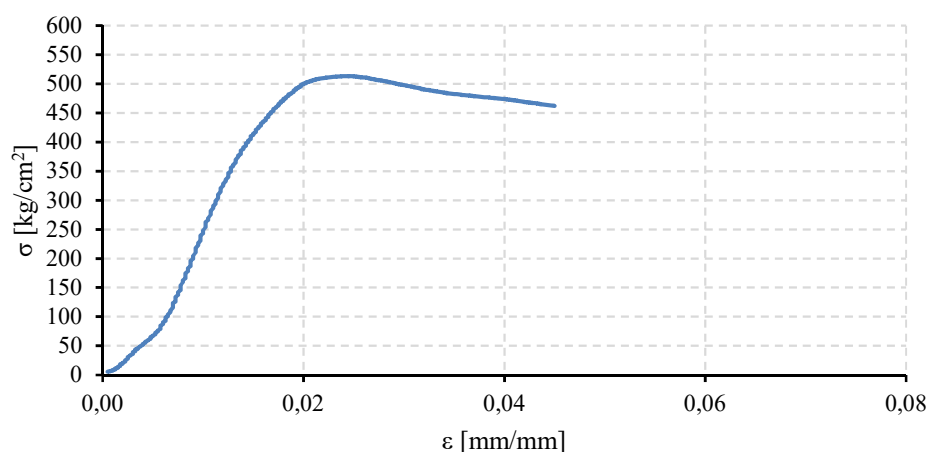


Fig. 5.92 Diagramma σ - ϵ (provino C19)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 439,80 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 513,33 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 462,09 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI PROVINO	20x19x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
16,71	439,80	0,0163	Elastica
19,51	513,33	0,0248	Massima
17,56	462,09	0,0450	Ultima

Tab. 5.47 Scheda riepilogativa provino C19



Fig. 5.93 Foto provino C19

Risultati provino C20

Il comportamento del *provino* C20 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.94) e tensione-deformazione (Fig. 5.95) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.48) e la documentazione fotografica (Fig. 5.96). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

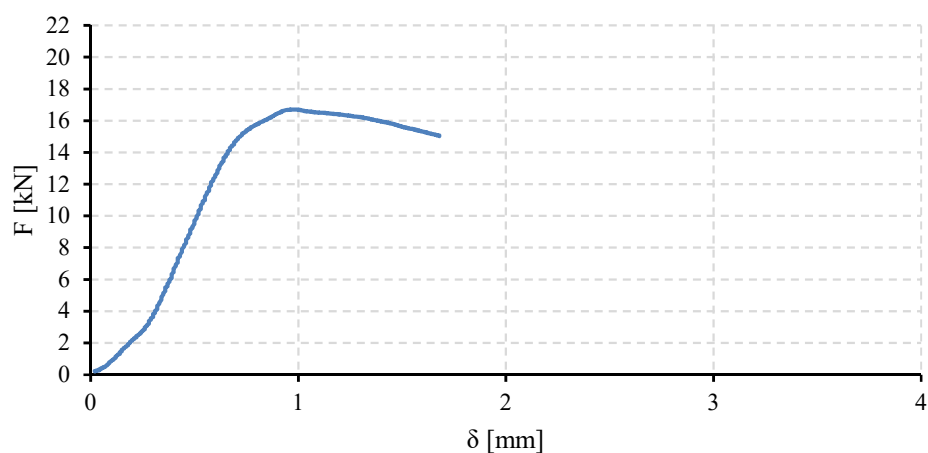


Fig. 5.94 Diagramma F- δ (provino C20)

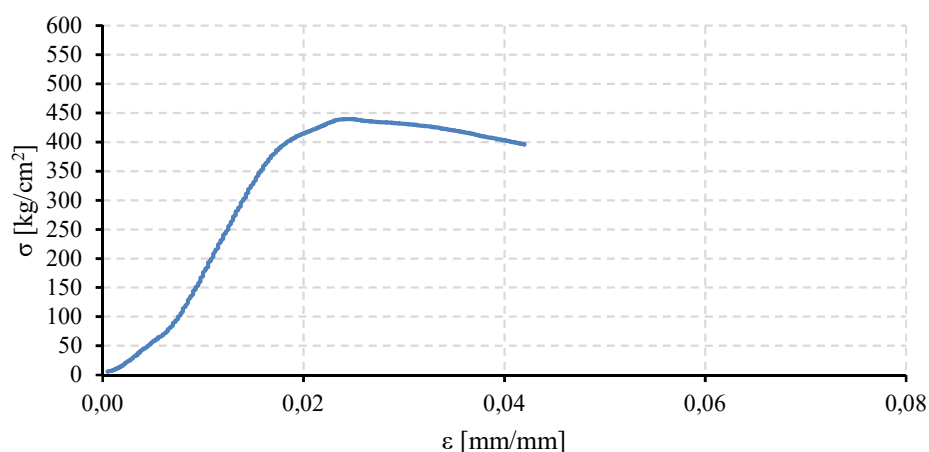


Fig. 5.95 Diagramma σ - ϵ (provino C20)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 377,93 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 439,44 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 395,63 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	20x19x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
14,36	377,93	0,0170	Elastica
16,70	439,44	0,0248	Massima
15,03	395,63	0,0420	Ultima

Tab. 5.48 Scheda riepilogativa provino C20

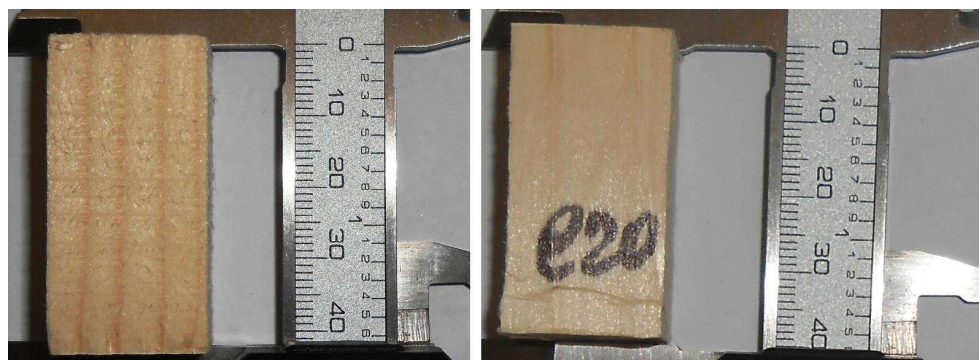


Fig. 5.96 Foto provino C20

Riepilogo dei risultati del Gruppo P.I.3.F

Al fine di ottenere un quadro riepilogativo delle prove del gruppo di provini P.I.3.F è utile effettuare una media di tutti i valori ottenuti e tracciare i diagrammi medi forza-spostamento (Fig. 5.97) e tensione-deformazione (Fig. 5.98). Questi diagrammi medi sono stati ottenuti a parità di deformazione. Quindi fissando una deformazione, si è effettuata la media dei valori di forza delle singole prove. Questa media non corrisponde alla media dei valori massimi di resistenza ottenuti dalle prove. Infatti nella scheda riepilogativa (Tab.5.49) viene riportato il valore medio massimo registrato dalle prove e il valore medio massimo grafico.

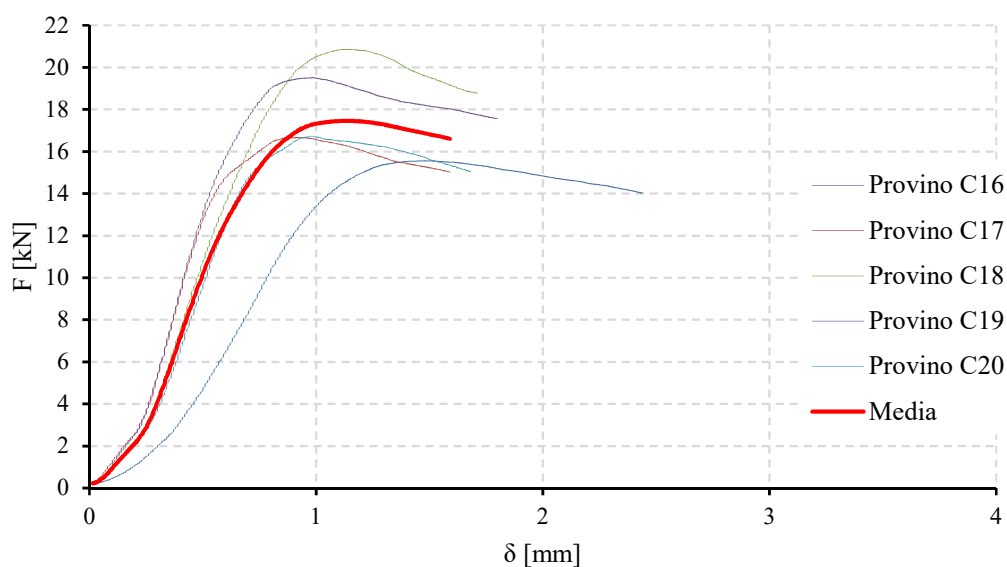


Fig. 5.97 Diagramma riepilogativo F - δ (gruppo provini P.I.3.F)

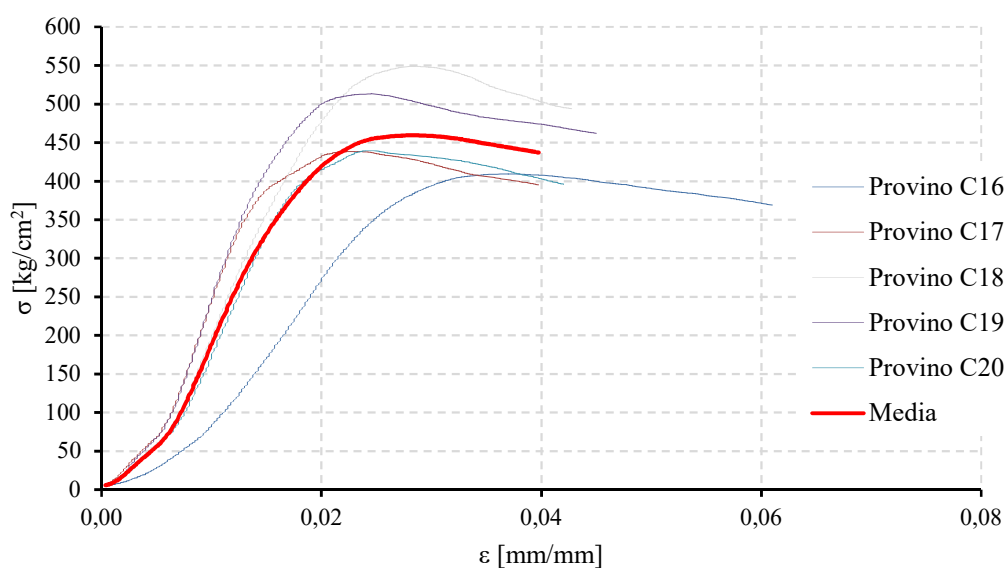


Fig. 5.98 Diagramma riepilogativo σ - ϵ (gruppo provini P.I.3.F)

Su uno stesso grafico, sono state riportate tutte le curve compresa la media, al fine di visualizzare in maniera chiara sia il rapporto esistente tra i risultati di ciascuna prova e il comportamento medio, sia il range entro il quale i valori si collocano.

Nella tabella che segue si sono riportati i valori notevoli delle prove, ovvero quelli al limite elastico, massimi e al limite ultimo (Tab. 5.49).

PROVINO	CARICO F [kN]	TENSIONE σ [kg/cm ²]	DEFORMAZIONE ϵ [mm/mm]	CONDIZIONE
C16	14,35	377,52	0,0275	Elastica
	15,57	409,61	0,0370	Massima
	14,02	368,95	0,0610	Ultima
C17	14,74	387,81	0,0150	Elastica
	16,67	438,61	0,0233	Massima
	15,01	395,06	0,0398	Ultima
C18	18,19	478,81	0,0200	Elastica
	20,86	548,89	0,0288	Massima
	18,78	494,19	0,0428	Ultima
C19	16,71	439,80	0,0163	Elastica
	19,51	513,33	0,0248	Massima
	17,56	462,09	0,0450	Ultima
C20	14,36	377,93	0,0170	Elastica
	16,70	439,44	0,0248	Massima
	15,03	395,63	0,042	Ultima
Media dei massimi	17,86	469,89	0,0277	/
Media grafica massimi	17,47	459,61	0,0283	

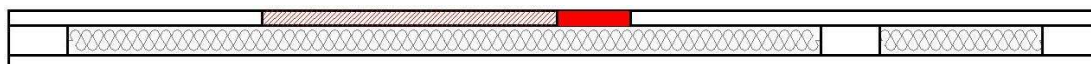
Tab. 5.49 Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.3.F

Risultati delle prove: gruppo P.I.4.F

Il gruppo P.I.4.F è costituito dai seguenti provini:

- provino C21 (dimensioni 40x20x20 mm);
- provino C22 (dimensioni 40x20x20 mm);
- provino C23 (dimensioni 40x20x20 mm);
- provino C24 (dimensioni 40x20x20 mm);
- provino C25 (dimensioni 40x20x20 mm).

Si riporta, di seguito, una figura illustrativa all'interno della quale viene specificata la porzione di legno strutturale da cui sono stati estratti i provini di legno netto.



Risultati provino C21

Il comportamento del *provino C21* è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.99) e tensione-deformazione (Fig. 5.100) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.50) e la documentazione fotografica (Fig. 5.101). Nel diagramma σ - ε la deformazione ε è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

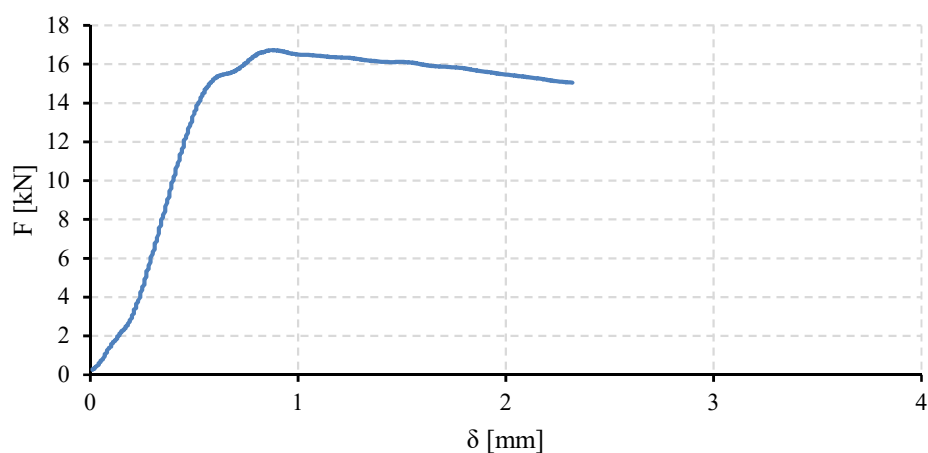


Fig. 5.99 Diagramma F - δ (provino C21)

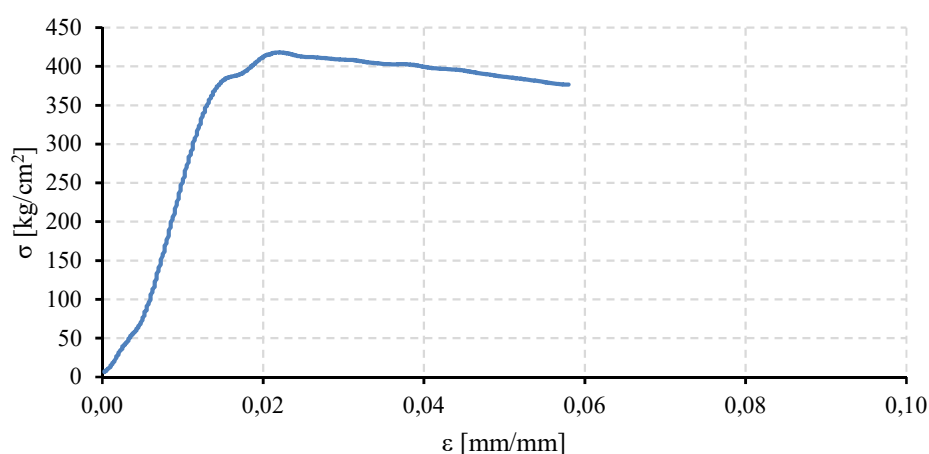


Fig. 5.100 Diagramma σ - ε (provino C21)

Come si può notare dal diagramma σ - ε , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 382,27 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 418,15 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 376,44 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	20x20x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
15,29	382,27	0,0170	Elastica
16,73	418,15	0,0248	Massima
15,06	376,44	0,0420	Ultima

Tab. 5.50 Scheda riepilogativa provino C21



Fig. 5.101 Foto provino C21

Risultati provino C22

Il comportamento del *provino* C22 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.102) e tensione-deformazione (Fig. 5.103) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.51) e la documentazione fotografica (Fig. 5.104). Nel diagramma σ - ε la deformazione ε è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

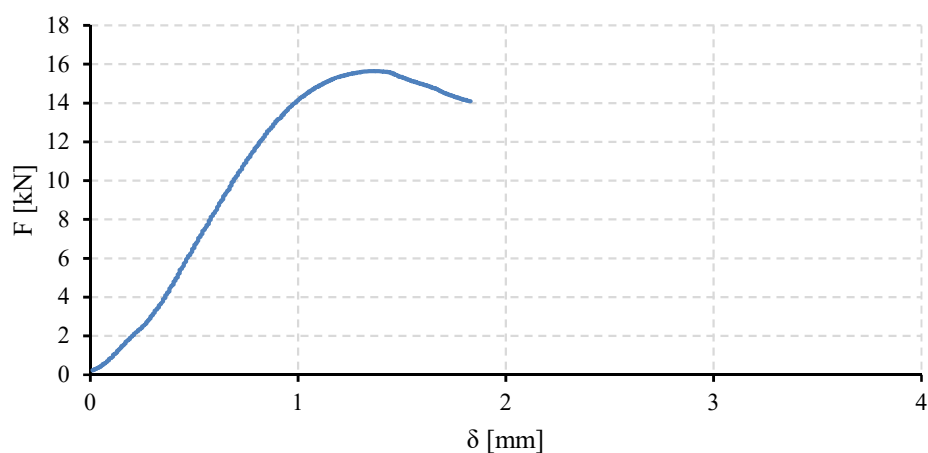


Fig. 5.102 Diagramma F - δ (provino C22)

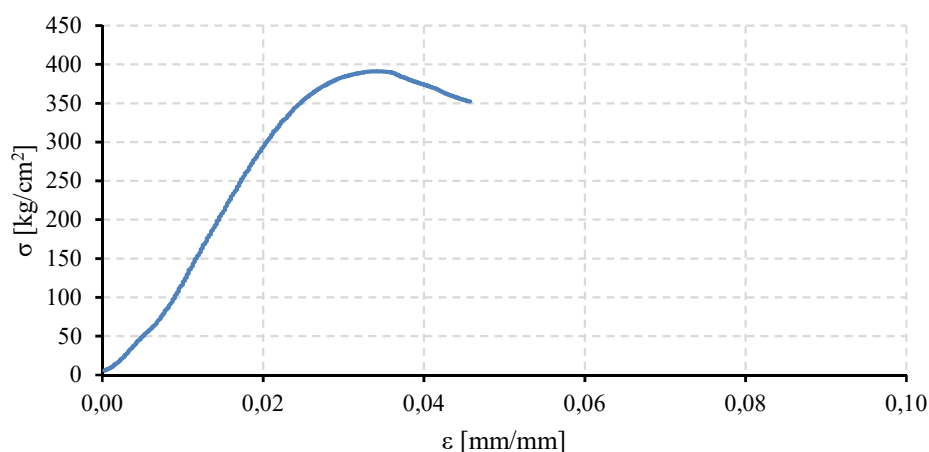


Fig. 5.103 Diagramma σ - ε (provino C22)

Come si può notare dal diagramma σ - ε , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 364,67 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 391,14 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 352,42 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	20x20x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
14,59	364,67	0,0263	Elastica
15,65	391,14	0,0343	Massima
14,10	352,42	0,0458	Ultima

Tab. 5.51 Scheda riepilogativa provino C22



Fig. 5.104 Foto provino C22

Risultati provino C23

Il comportamento del provino C23 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.105) e tensione-deformazione (Fig. 5.106) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.52) e la documentazione fotografica (Fig. 5.107). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

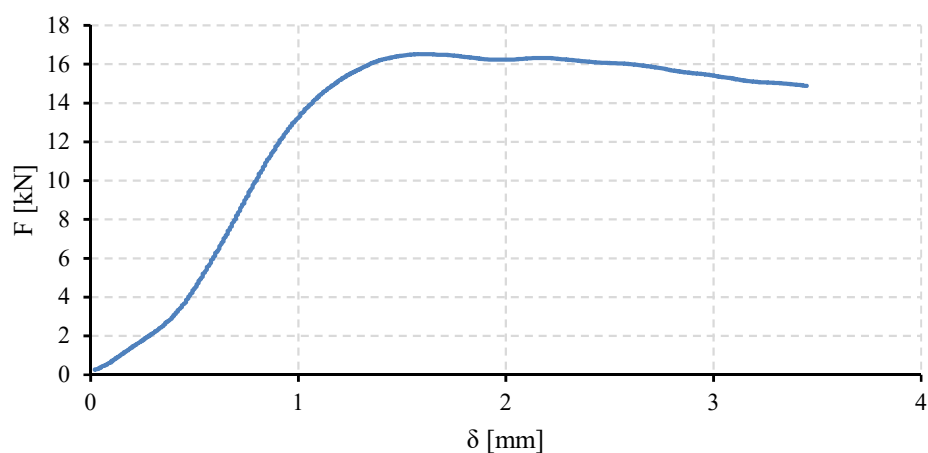


Fig. 5.105 Diagramma F - δ (provino C23)

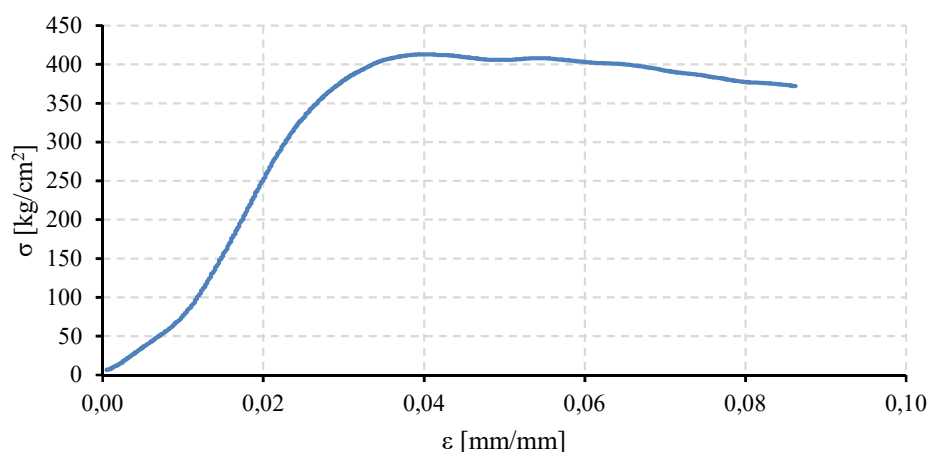


Fig. 5.106 Diagramma σ - ϵ (provino C23)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 359,03 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 413,15 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 371,98 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	20x20x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
14,36	359,03	0,0275	Elastica
16,53	413,15	0,0395	Massima
14,88	371,98	0,0863	Ultima

Tab. 5.52 Scheda riepilogativa provino C23

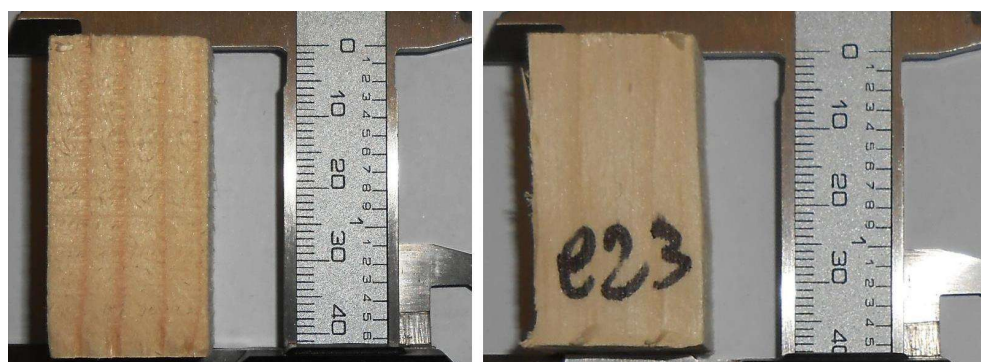


Fig. 5.107 Foto provino C23

Risultati provino C24

Il comportamento del *provino* C24 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.108) e tensione-deformazione (Fig. 5.109) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.53) e la documentazione fotografica (Fig. 5.110). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

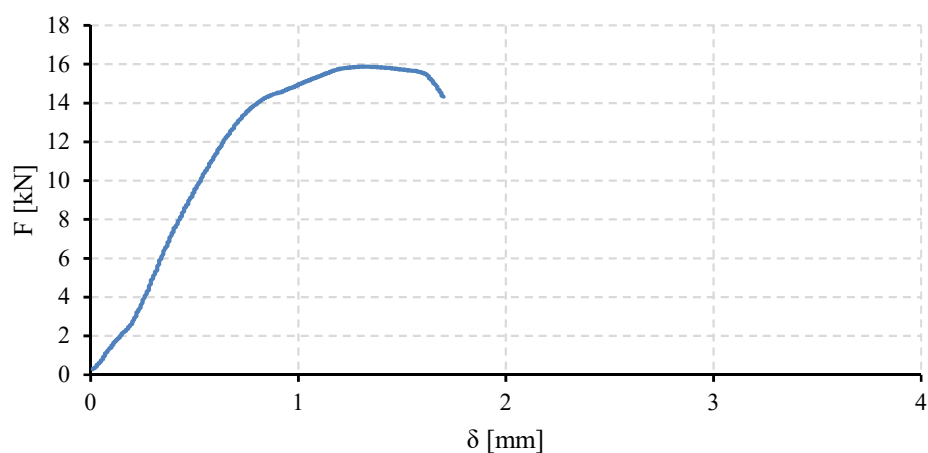


Fig. 5.108 Diagramma F - δ (provino C24)

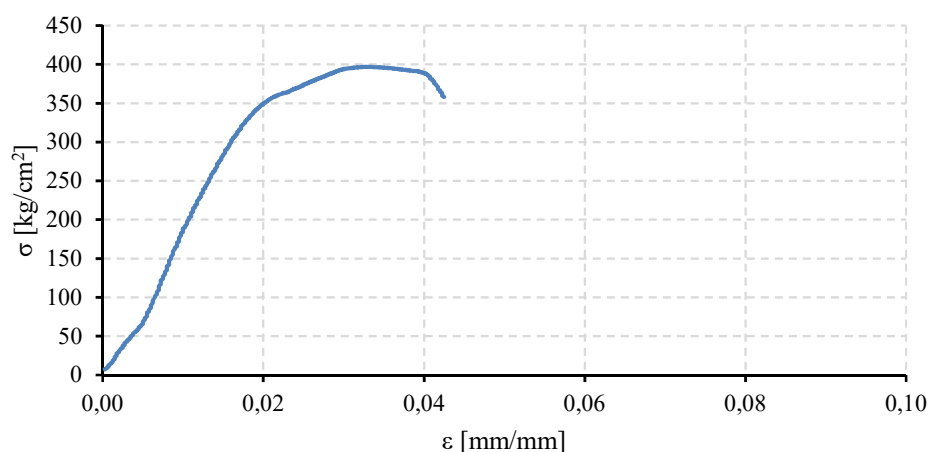


Fig. 5.109 Diagramma σ - ϵ (provino C24)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 309,13 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 396,88 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 358,15 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	20x20x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
12,37	309,13	0,0165	Elastica
15,88	396,88	0,0333	Massima
14,33	358,15	0,0425	Ultima

Tab. 5.53 Scheda riepilogativa provino C24

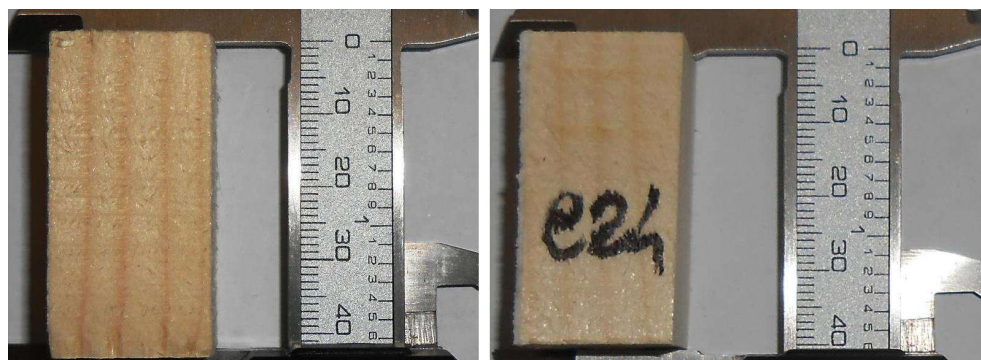


Fig. 5.110 Foto provino C24

Risultati provino C25

Il comportamento del *provino* C25 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.111) e tensione-deformazione (Fig. 5.112) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.54) e la documentazione fotografica (Fig. 5.113). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

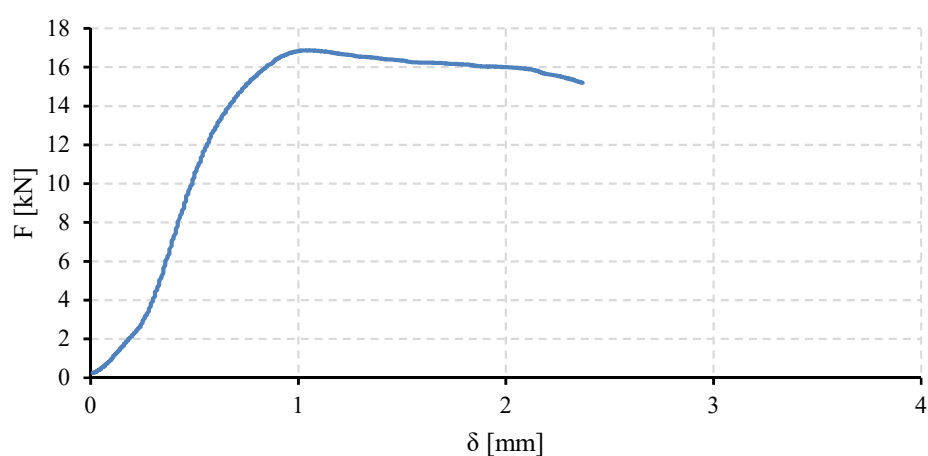


Fig. 5.111 Diagramma F - δ (provino C25)

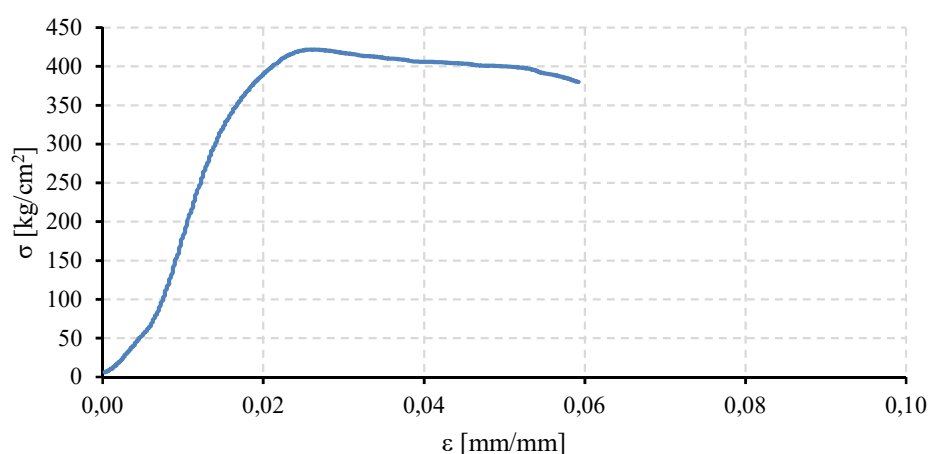


Fig. 5.112 Diagramma σ - ϵ (provino C25)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 326,34 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 421,68 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 379,77 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	20x20x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
13,00	326,34	0,0153	Elastica
16,87	421,68	0,0263	Massima
15,19	379,77	0,0593	Ultima

Tab. 5.54 Scheda riepilogativa provino C25

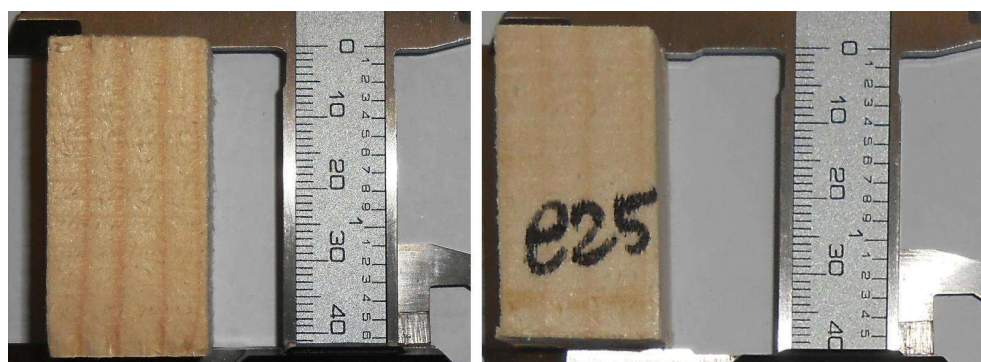


Fig. 5.113 Foto provino C25

Riepilogo dei risultati Gruppo P.I.4.F

Al fine di ottenere un quadro riepilogativo delle prove del gruppo di provini P.I.4.F è utile effettuare una media di tutti i valori ottenuti e tracciare i diagrammi medi forza-spostamento (Fig. 5.114) e tensione-deformazione (Fig. 5.115). Questi diagrammi medi sono stati ottenuti a parità di deformazione. Quindi fissando una deformazione, si è effettuata la media dei valori di forza delle singole prove. Questa media non corrisponde alla media dei valori massimi di resistenza ottenuti dalle prove. Infatti nella scheda riepilogativa (Tab.5.55) viene riportato il valore medio massimo registrato dalle prove e il valore medio massimo grafico.

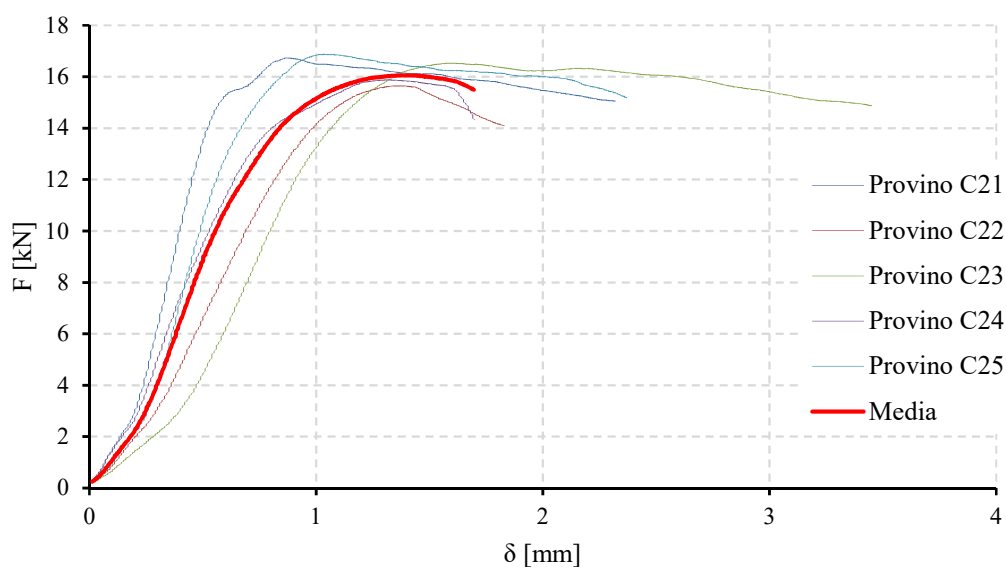


Fig. 5.114 Diagramma riepilogativo F - δ (gruppo provini P.I.4.F)

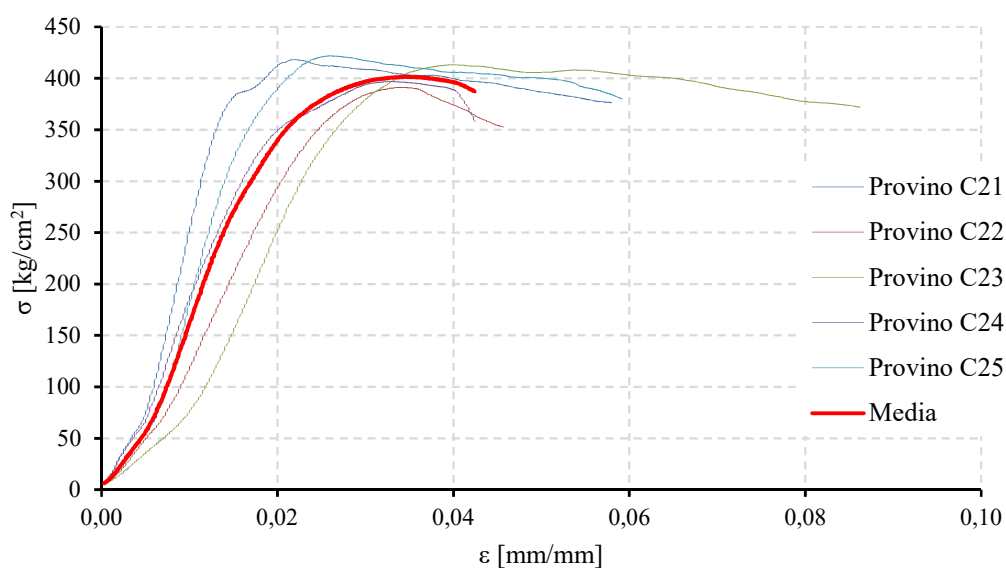


Fig. 5.115 Diagramma riepilogativo σ - ϵ (gruppo provini P.I.4.F)

Su uno stesso grafico, sono state riportate tutte le curve compresa la media, al fine di visualizzare in maniera chiara sia il rapporto esistente tra i risultati di ciascuna prova e il comportamento medio, sia il

range entro il quale i valori si collocano. Nella tabella che segue si sono riportati i valori notevoli delle prove, ovvero quelli al limite elastico, massimi e al limite ultimo (Tab. 5.55).

PROVINO	CARICO F [kN]	TENSIONE σ [kg/cm ²]	DEFORMAZIONE ε [mm/mm]	CONDIZIONE
C21	15,29	382,27	0,0150	Elastica
	16,73	418,15	0,0218	Massima
	15,06	376,44	0,0580	Ultima
C22	14,59	364,67	0,0263	Elastica
	15,65	391,14	0,0343	Massima
	14,10	352,42	0,0458	Ultima
C23	14,36	359,03	0,0275	Elastica
	16,53	413,15	0,0395	Massima
	14,88	371,98	0,0863	Ultima
C24	12,37	309,13	0,0165	Elastica
	15,88	396,88	0,0333	Massima
	14,33	358,15	0,0425	Ultima
C25	13,00	326,34	0,0153	Elastica
	16,87	421,68	0,0263	Massima
	15,19	379,77	0,0593	Ultima
Media dei massimi	16,33	408,20	0,0310	/
Media grafica massimi	16,06	401,44	0,0346	

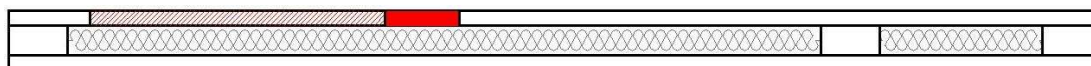
Tab. 5.55 Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.4.F

Risultati delle prove: gruppo P.I.5.F

Il gruppo P.I.5.F è costituito dai seguenti provini:

- provino C26 (dimensioni 40x20x22 mm);
- provino C27 (dimensioni 40x20x21 mm);
- provino C28 (dimensioni 40x20x22 mm);
- provino C29 (dimensioni 40x22x20 mm);
- provino C30 (dimensioni 40x21x21 mm).

Si riporta, di seguito, una figura illustrativa all'interno della quale viene specificata la porzione di legno strutturale da cui sono stati estratti i provini di legno netto.



Risultati provino C26

Il comportamento del *provino* C26 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.116) e tensione-deformazione (Fig. 5.117) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.56) e la documentazione fotografica (Fig. 5.118). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

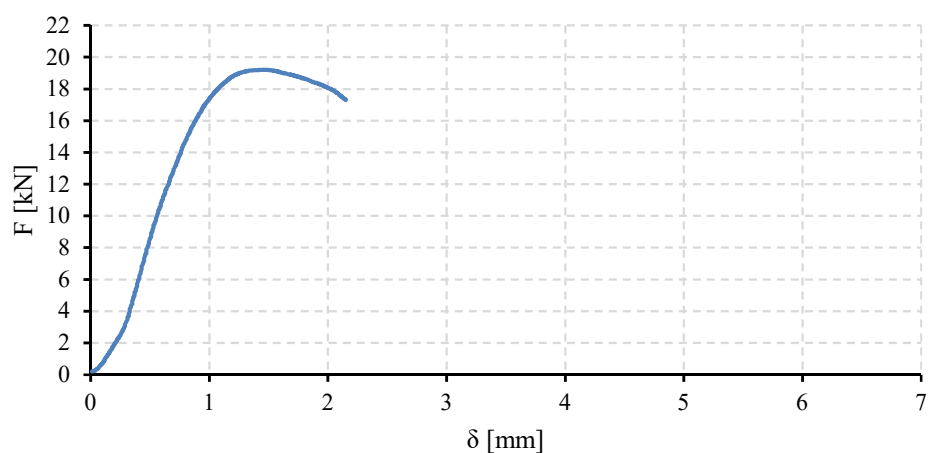


Fig. 5.116 Diagramma F - δ (provino C26)

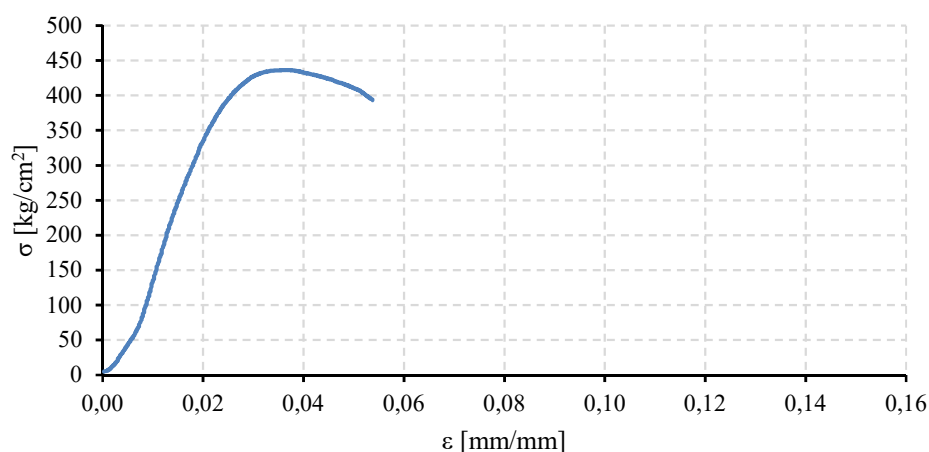


Fig. 5.117 Diagramma σ - ϵ (provino C26)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 334,55 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 436,56 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 393,33 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	22x20x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
14,72	334,55	0,0200	Elastica
19,21	436,56	0,0368	Massima
17,31	393,33	0,0538	Ultima

Tab. 5.56 Scheda riepilogativa provino C26

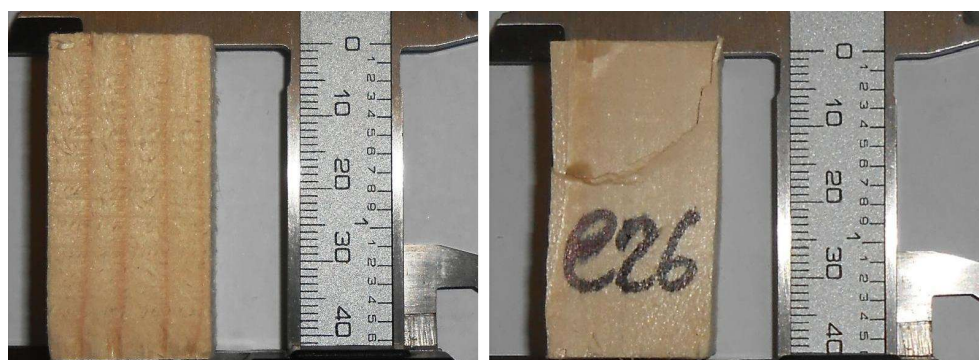


Fig. 5.118 Foto provino C26

Risultati provino C27

Il comportamento del provino C27 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.119) e tensione-deformazione (Fig. 5.120) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.57) e la documentazione fotografica (Fig. 5.121). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

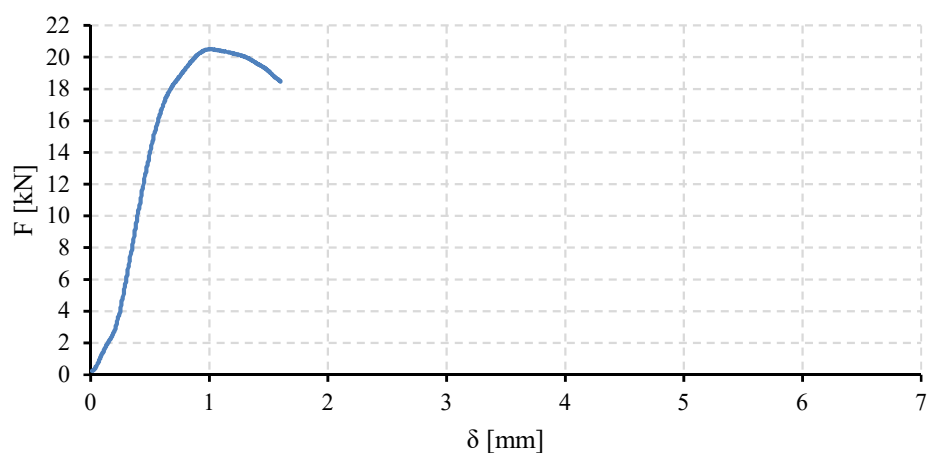


Fig. 5.119 Diagramma F - δ (provino C27)

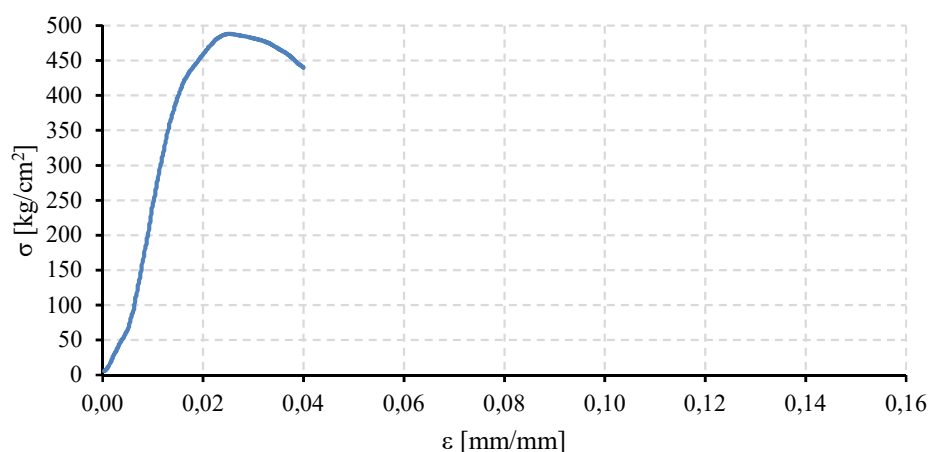


Fig. 5.120 Diagramma σ - ϵ (provino C27)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 405,29 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 488,30 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 439,61 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	21x20x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
17,02	405,29	0,0153	Elastica
20,51	488,30	0,0255	Massima
18,46	439,61	0,0400	Ultima

Tab. 5.57 Scheda riepilogativa provino C27

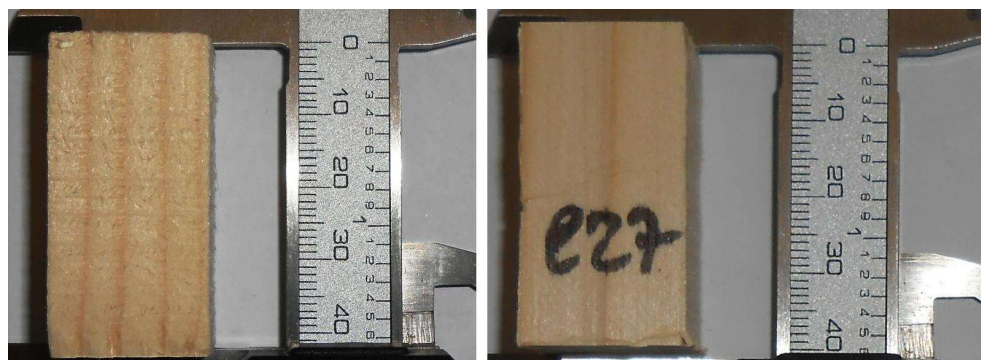


Fig. 5.121 Foto provino C27

Risultati provino C28

Il comportamento del *provino* C28 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.122) e tensione-deformazione (Fig. 5.123) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.58) e la documentazione fotografica (Fig. 5.124). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

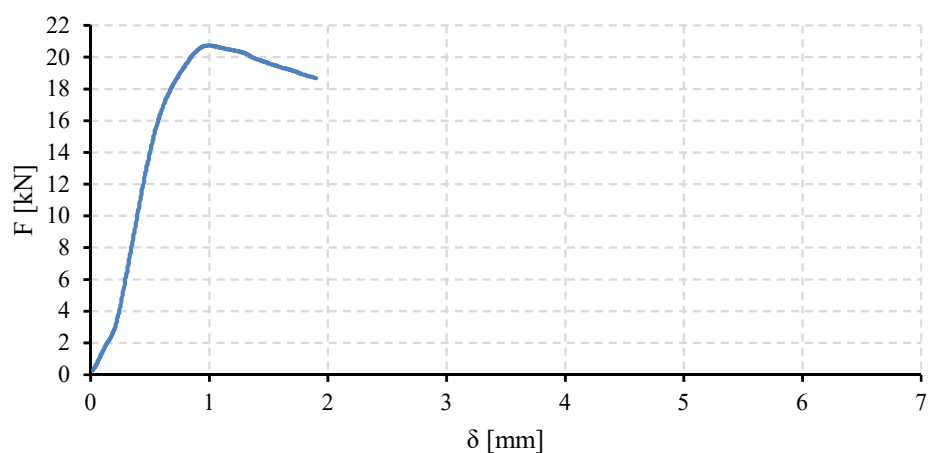


Fig. 5.122 Diagramma F - δ (provino C28)

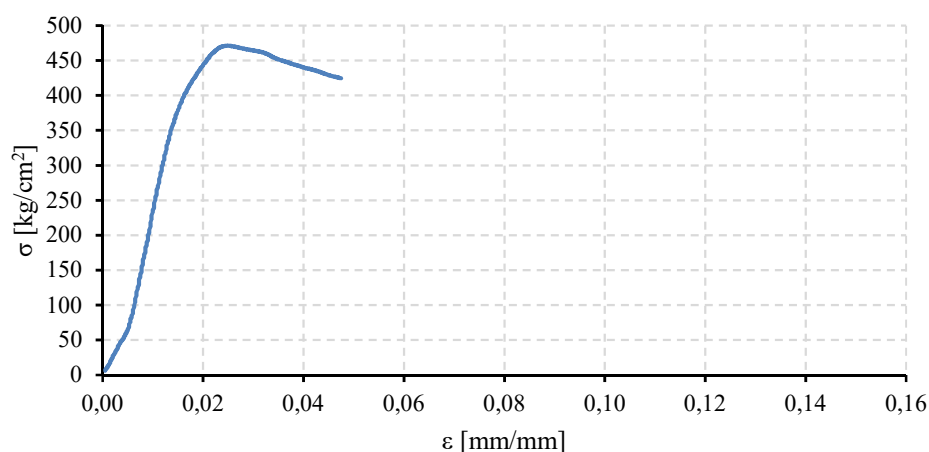


Fig. 5.123 Diagramma σ - ϵ (provino C28)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 382,28 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 471,28 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 424,26 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	22x20x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
16,82	382,28	0,0153	Elastica
20,74	471,28	0,0250	Massima
18,67	424,26	0,0475	Ultima

Tab. 5.58 Scheda riepilogativa provino C28



Fig. 5.124 Foto provino C28

Risultati provino C29

Il comportamento del provino C29 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.125) e tensione-deformazione (Fig. 5.126) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.59) e la documentazione fotografica (Fig. 5.127). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

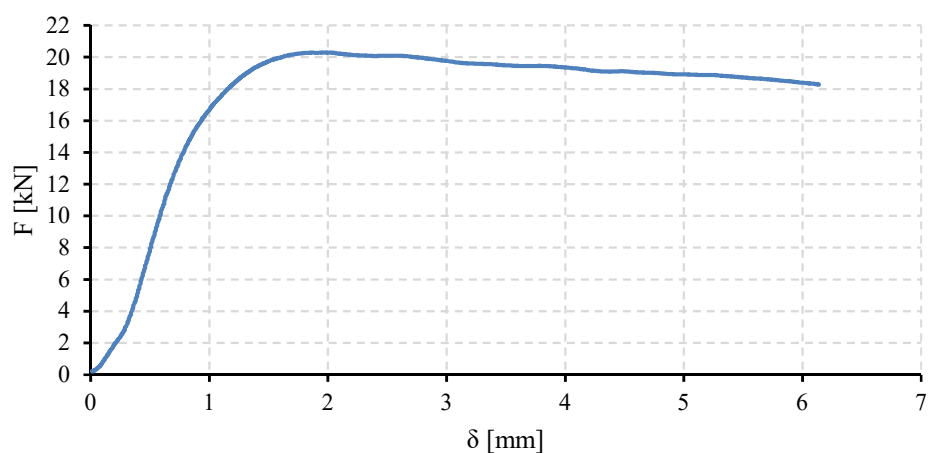


Fig. 5.125 Diagramma F- δ (provino C29)

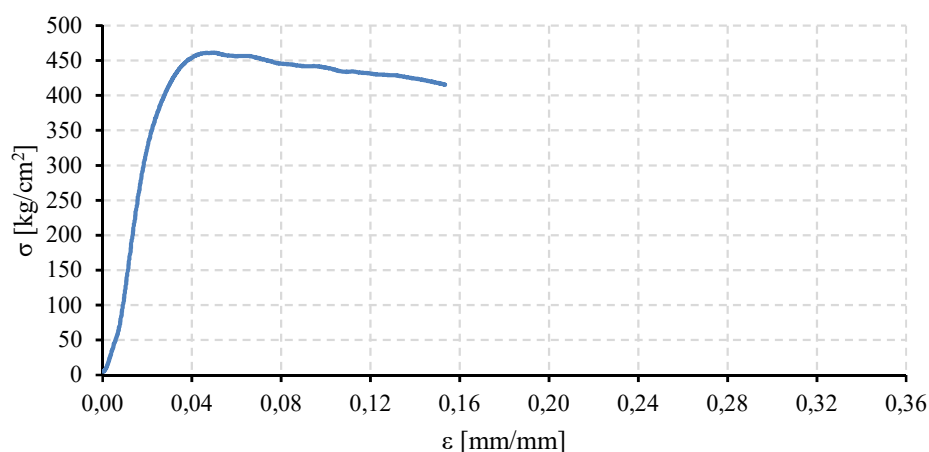


Fig. 5.126 Diagramma σ - ϵ (provino C29)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 336,47 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 461,29 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 415,26 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	20x22x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
14,80	336,47	0,0208	Elastica
20,30	461,29	0,0503	Massima
18,27	415,26	0,1535	Ultima

Tab. 5.59 Scheda riepilogativa provino C29



Fig. 5.127 Foto provino C29

Risultati provino C30

Il comportamento del provino C30 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.128) e tensione-deformazione (Fig. 5.129) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.60) e la documentazione fotografica (Fig. 5.130). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

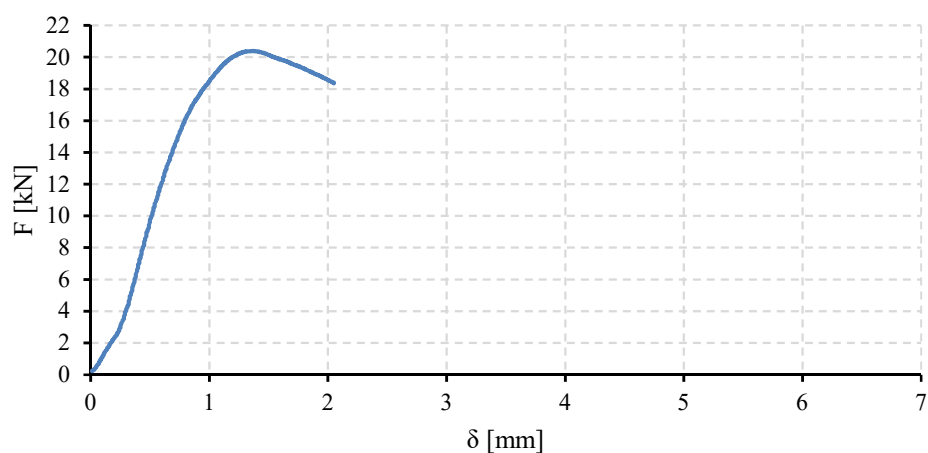


Fig. 5.128 Diagramma F - δ (provino C30)

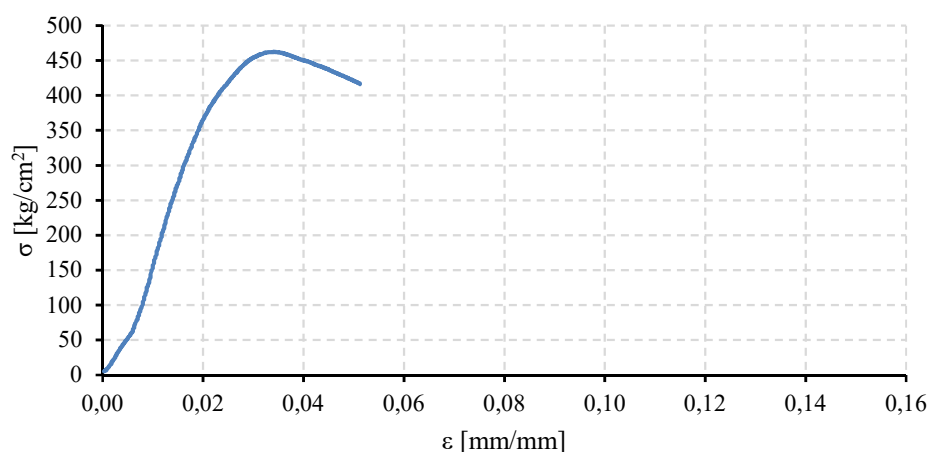


Fig. 5.129 Diagramma σ - ϵ (provino C30)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 354,96 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 462,29 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 416,18 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	21x21x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
15,65	354,96	0,0193	Elastica
20,39	462,29	0,0343	Massima
18,35	416,18	0,0513	Ultima

Tab. 5.60 Scheda riepilogativa provino C30

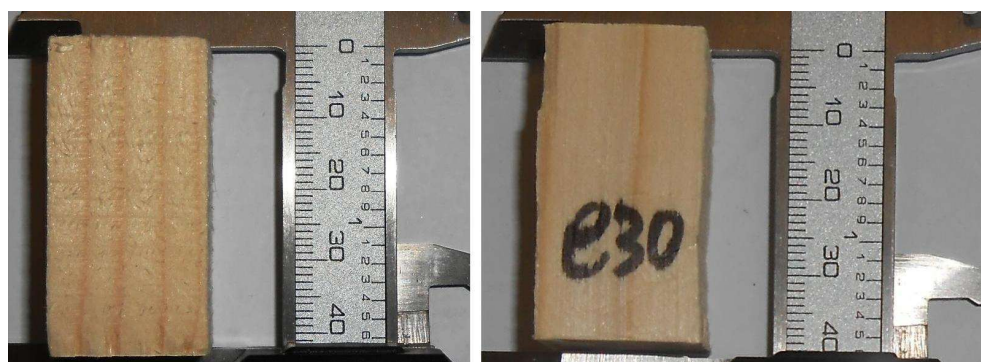


Fig. 5.130 Foto provino C30

Riepilogo dei risultati del Gruppo P.I.5.F

Al fine di ottenere un quadro riepilogativo delle prove del gruppo di provini P.I.5.F è utile effettuare una media di tutti i valori ottenuti e tracciare i diagrammi medi forza-spostamento (Fig. 5.131) e tensione-deformazione (Fig. 5.132). Questi diagrammi medi sono stati ottenuti a parità di deformazione. Quindi fissando una deformazione, si è effettuata la media dei valori di forza delle singole prove. Questa media non corrisponde alla media dei valori massimi di resistenza ottenuti dalle prove. Infatti nella scheda riepilogativa (Tab.5.61) viene riportato il valore medio massimo registrato dalle prove e il valore medio massimo grafico.

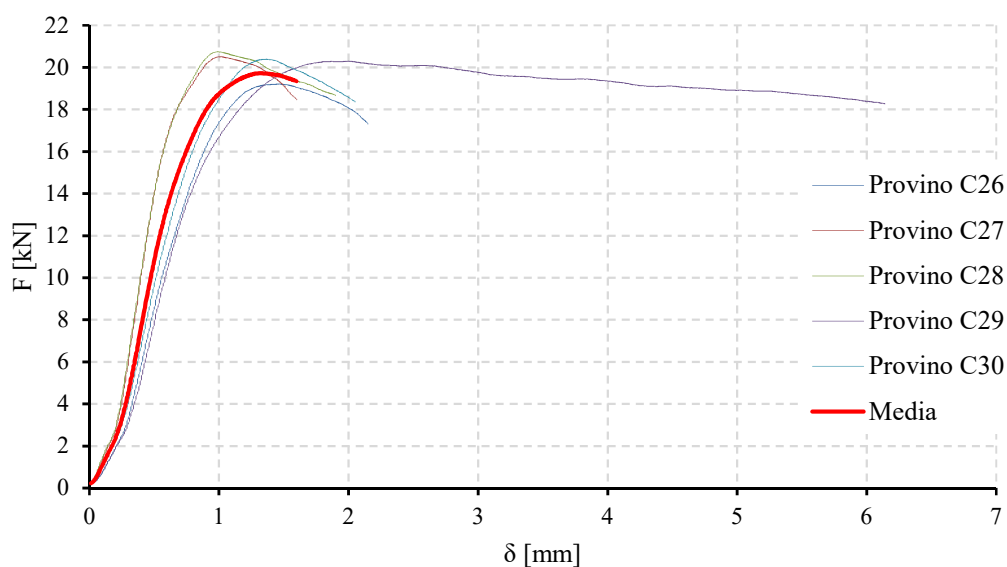


Fig. 5.131 Diagramma riepilogativo F - δ (gruppo provini P.I.5.F)

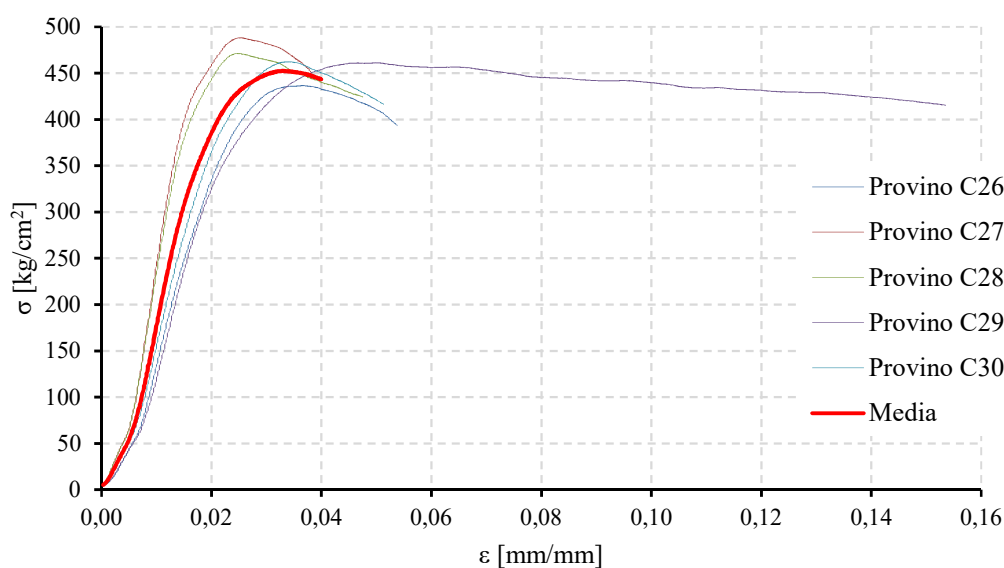


Fig. 5.132 Diagramma riepilogativo σ - ϵ (gruppo provini P.I.5.F)

Su uno stesso grafico, sono state riportate tutte le curve compresa la media, al fine di visualizzare in maniera chiara sia il rapporto esistente tra i risultati di ciascuna prova e il comportamento medio, sia il range entro il quale i valori si collocano.

Nella tabella che segue si sono riportati i valori notevoli delle prove, ovvero quelli al limite elastico, massimi e al limite ultimo (Tab. 5.61).

PROVINO	CARICO F [kN]	TENSIONE σ [kg/cm ²]	DEFORMAZIONE ϵ [mm/mm]	CONDIZIONE
C26	14,72	334,55	0,0200	Elastica
	19,21	436,56	0,0368	Massima
	17,31	393,33	0,0538	Ultima
C27	17,02	405,29	0,0153	Elastica
	20,51	488,30	0,0255	Massima
	18,46	439,61	0,0400	Ultima
C28	16,82	382,28	0,0153	Elastica
	20,74	471,28	0,0250	Massima
	18,67	424,26	0,0475	Ultima
C29	14,80	336,47	0,0208	Elastica
	20,30	461,29	0,0503	Massima
	18,27	415,26	0,1535	Ultima
C30	15,65	354,96	0,0193	Elastica
	20,39	462,29	0,0343	Massima
	18,35	416,18	0,0513	Ultima
Media dei massimi	20,23	463,94	0,0344	/
Media grafica massimi	19,73	452,46	0,0330	

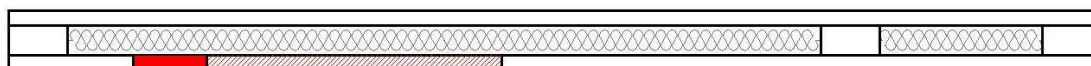
Tab. 5.61 Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.5.F

Risultati delle prove: gruppo P.I.6.F

Il gruppo P.I.6.F è costituito dai seguenti provini:

- provino C31 (dimensioni 40x20x20 mm);
- provino C32 (dimensioni 40x20x19 mm);
- provino C33 (dimensioni 40x20x19 mm);
- provino C34 (dimensioni 40x20x19 mm);
- provino C35 (dimensioni 40x20x19 mm).

Si riporta, di seguito, una figura illustrativa all'interno della quale viene specificata la porzione di legno strutturale da cui sono stati estratti i provini di legno netto.



Risultati provino C31

Il comportamento del *provino C31* è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.133) e tensione-deformazione (Fig. 5.134) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.62) e la documentazione fotografica (Fig. 5.135). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

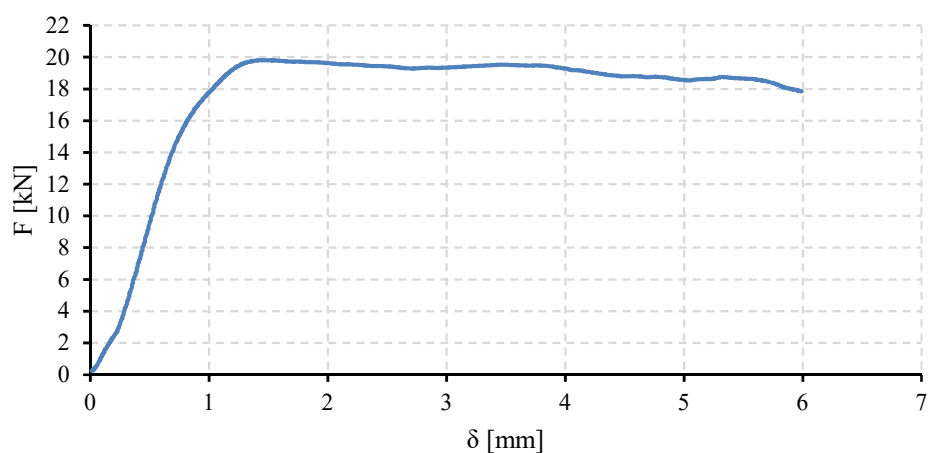


Fig. 5.133 Diagramma F - δ (provino C31)

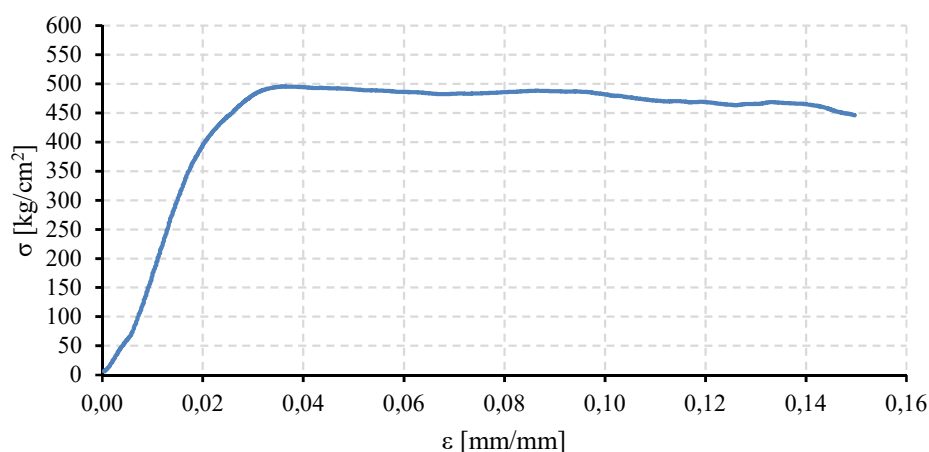


Fig. 5.134 Diagramma σ - ϵ (provino C31)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 425,41 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 495,41 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 446,05 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	20x20x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
17,02	425,41	0,0228	Elastica
19,82	495,41	0,0363	Massima
17,84	446,05	0,1498	Ultima

Tab. 5.62 Scheda riepilogativa provino C31

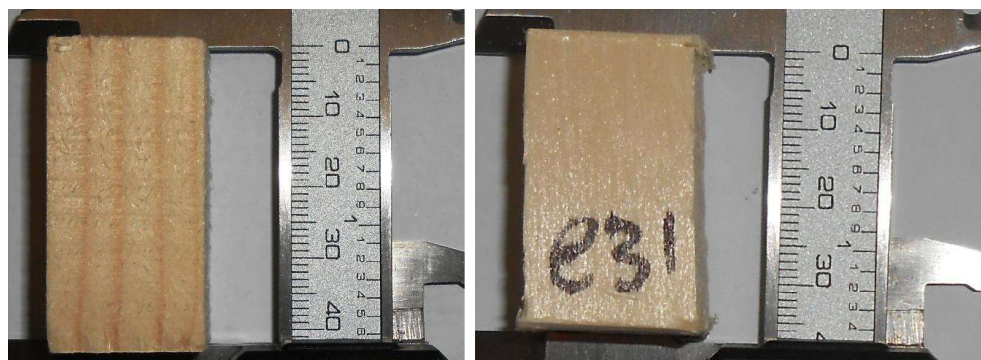


Fig. 5.135 Foto provino C31

Risultati provino C32

Il comportamento del *provino* C32 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.136) e tensione-deformazione (Fig. 5.137) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.63) e la documentazione fotografica (Fig. 5.138). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

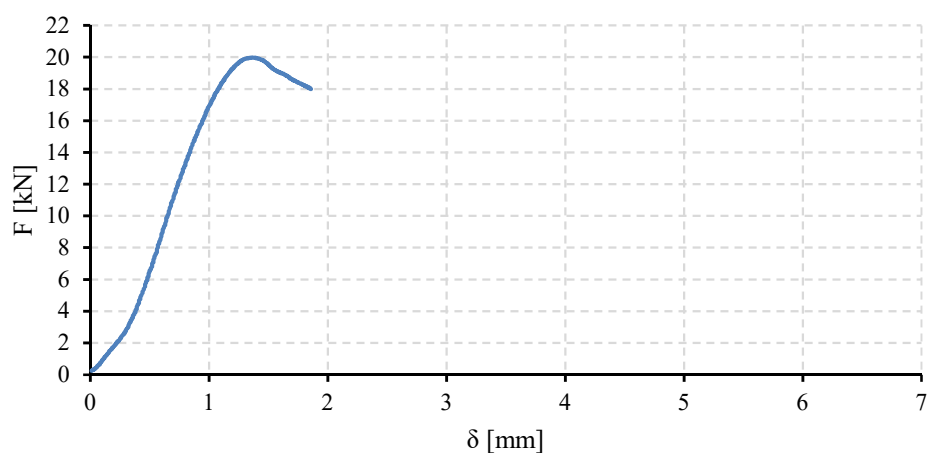


Fig. 5.136 Diagramma F - δ (provino C32)

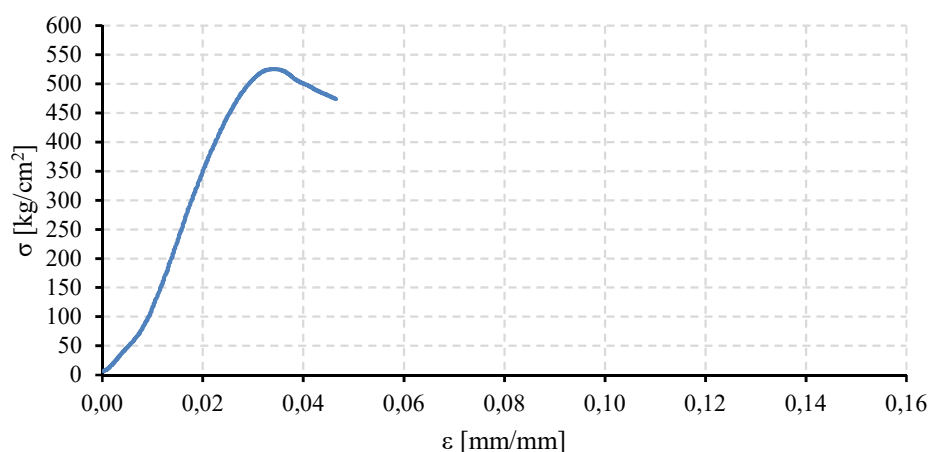


Fig. 5.137 Diagramma σ - ϵ (provino C32)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 499,92 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 525,41 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 473,39 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	20x19x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
19,00	499,92	0,0293	Elastica
19,97	525,41	0,0343	Massima
17,99	473,39	0,0465	Ultima

Tab. 5.63 Scheda riepilogativa provino C32

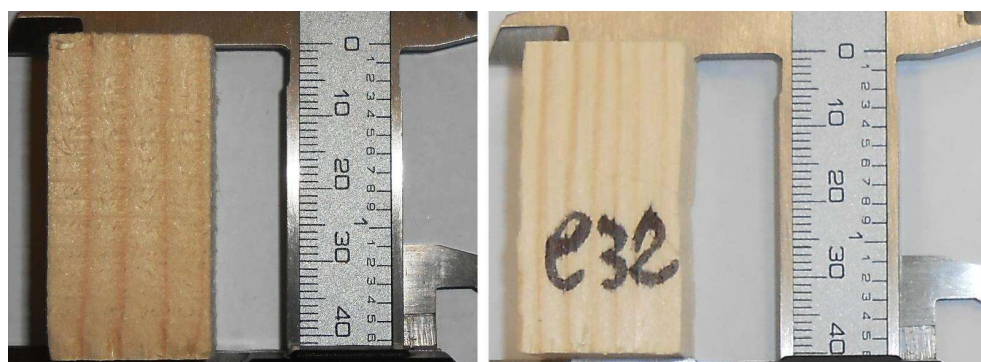


Fig. 5.138 Foto provino C32

Risultati provino C33

Il comportamento del provino C33 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.139) e tensione-deformazione (Fig. 5.140) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.64) e la documentazione fotografica (Fig. 5.141). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

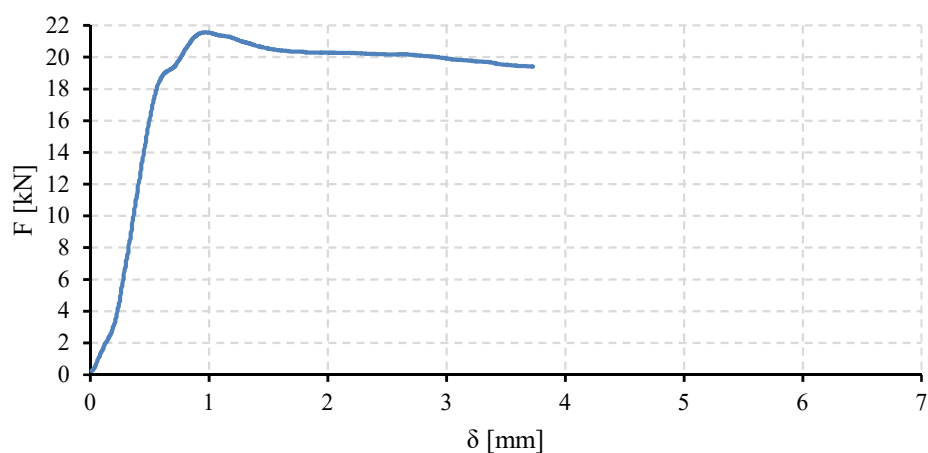


Fig. 5.139 Diagramma F- δ (provino C33)

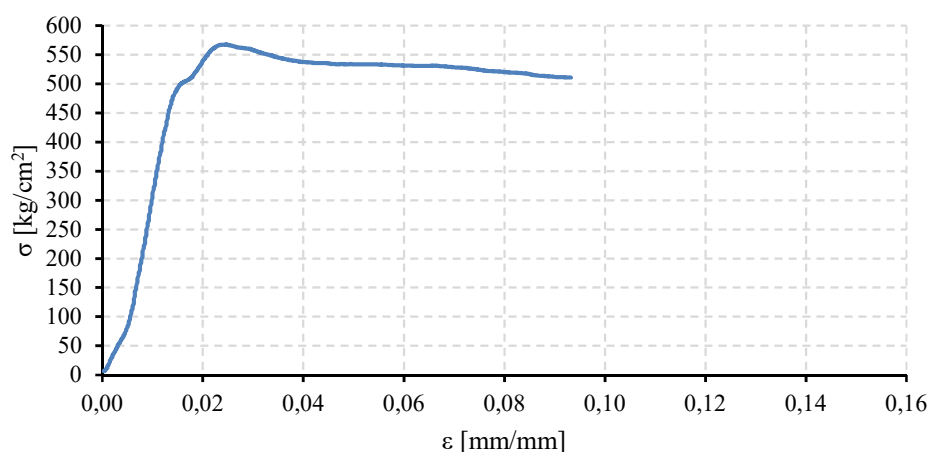


Fig. 5.140 Diagramma σ - ϵ (provino C33)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 495,84 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 567,36 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 510,65 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	20x19x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
18,84	495,84	0,0153	Elastica
21,56	567,36	0,0248	Massima
19,40	510,65	0,0933	Ultima

Tab. 5.64 Scheda riepilogativa provino C33



Fig. 5.141 Foto provino C33

Risultati provino C34

Il comportamento del provino C34 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.142) e tensione-deformazione (Fig. 5.143) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.65) e la documentazione fotografica (Fig. 5.144). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

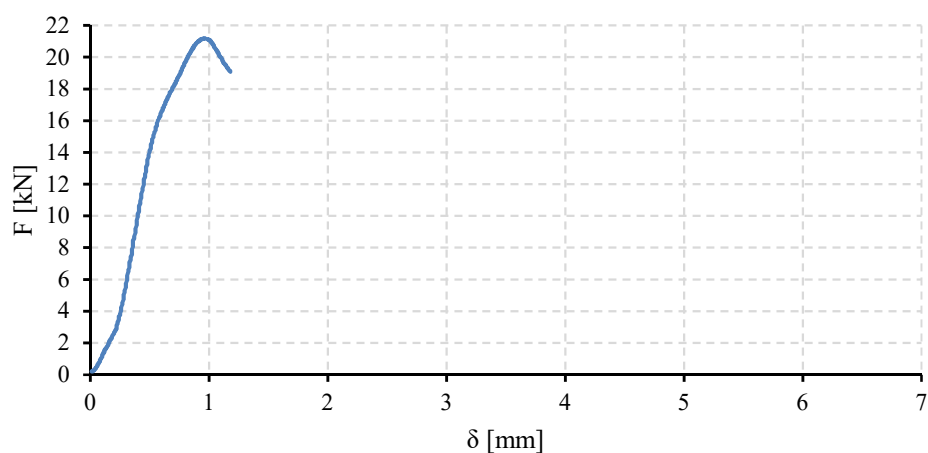


Fig. 5.142 Diagramma F- δ (provino C34)

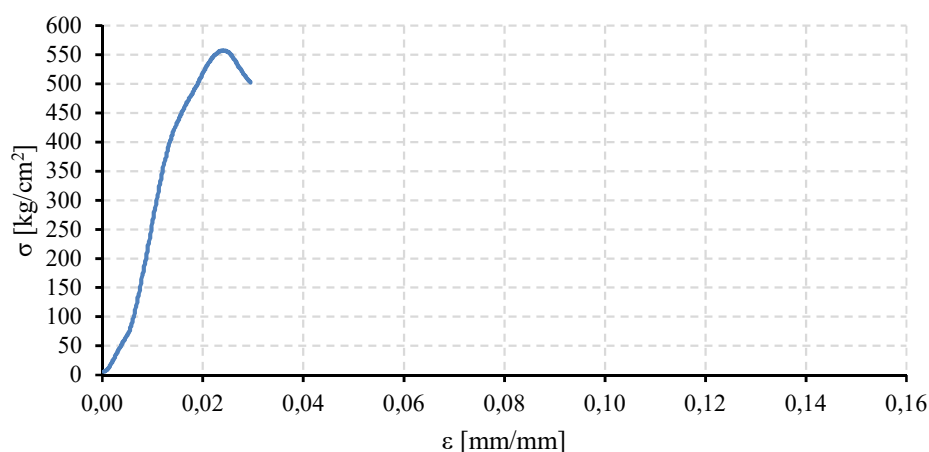


Fig. 5.143 Diagramma σ - ϵ (provino C34)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 441,86 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 557,35 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 502,19 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	20x19x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
16,79	441,86	0,0153	Elastica
21,18	557,35	0,0243	Massima
19,08	502,19	0,0295	Ultima

Tab. 5.65 Scheda riepilogativa provino C34



Fig. 5.144 Foto provino C34

Risultati provino C35

Il comportamento del provino C35 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.145) e tensione-deformazione (Fig. 5.146) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.66) e la documentazione fotografica (Fig. 5.147). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

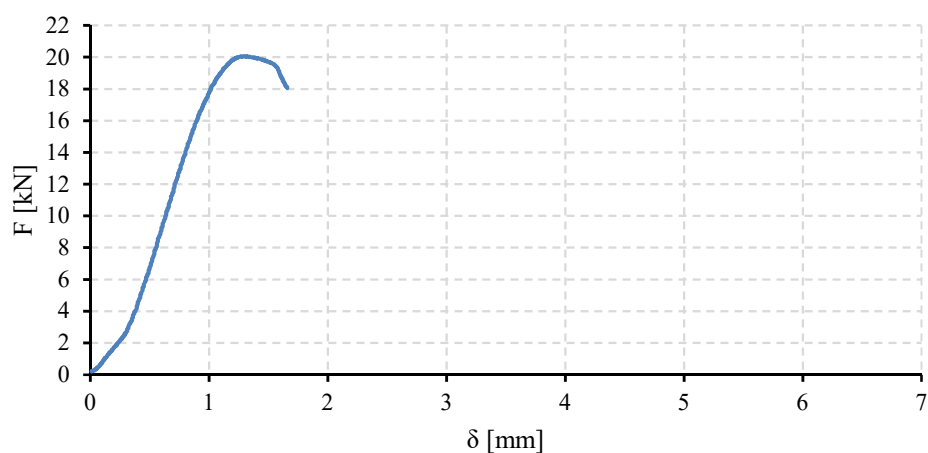


Fig. 5.145 Diagramma F- δ (provino C35)

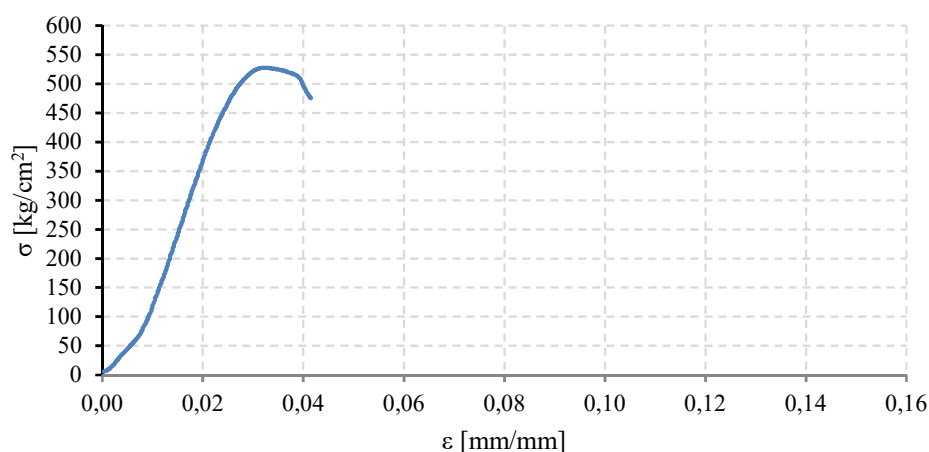


Fig. 5.146 Diagramma σ - ϵ (provino C35)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 475,66 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 527,58 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 475,25 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	20x19x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
18,08	475,66	0,0255	Elastica
20,05	527,58	0,0328	Massima
18,06	475,25	0,0415	Ultima

Tab. 5.66 Scheda riepilogativa provino C35

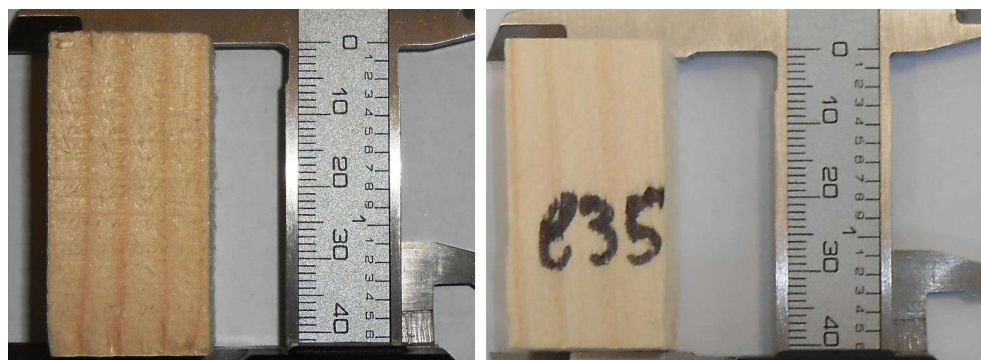


Fig. 5.147 Foto provino C35

Riepilogo dei risultati del Gruppo P.I.6.F

Al fine di ottenere un quadro riepilogativo delle prove del gruppo di provini P.I.6.F è utile effettuare una media di tutti i valori ottenuti e tracciare i diagrammi medi forza-spostamento (Fig. 5.148) e tensione deformazione (Fig. 5.149). Questi diagrammi medi sono stati ottenuti a parità di deformazione. Quindi fissando una deformazione, si è effettuata la media dei valori di forza delle singole prove. Questa media non corrisponde alla media dei valori massimi di resistenza ottenuti dalle prove. Infatti nella scheda riepilogativa (Tab.5.67) viene riportato il valore medio massimo registrato dalle prove e il valore medio massimo grafico.

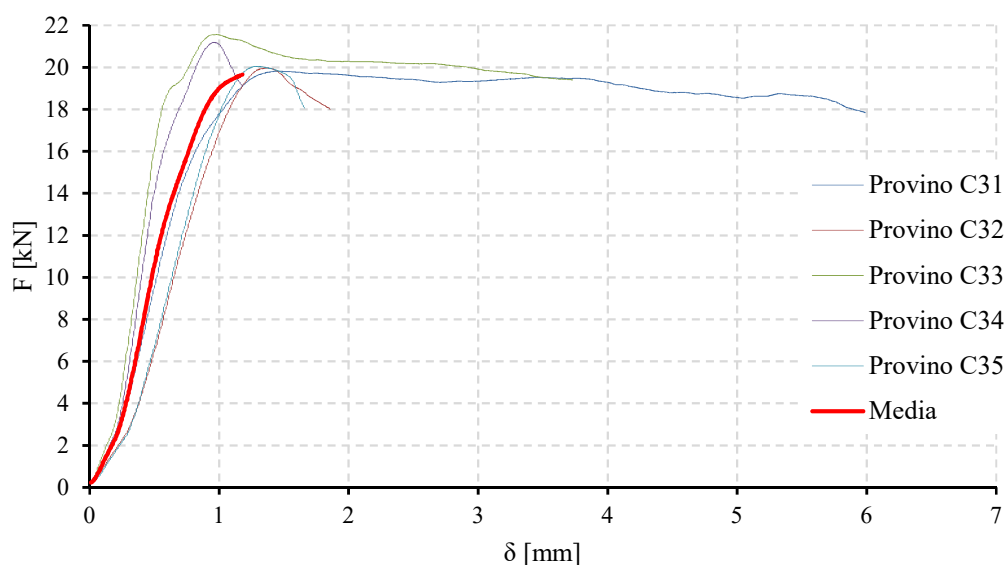


Fig. 5.148 Diagramma riepilogativo F - δ (gruppo provini P.I.6.F)

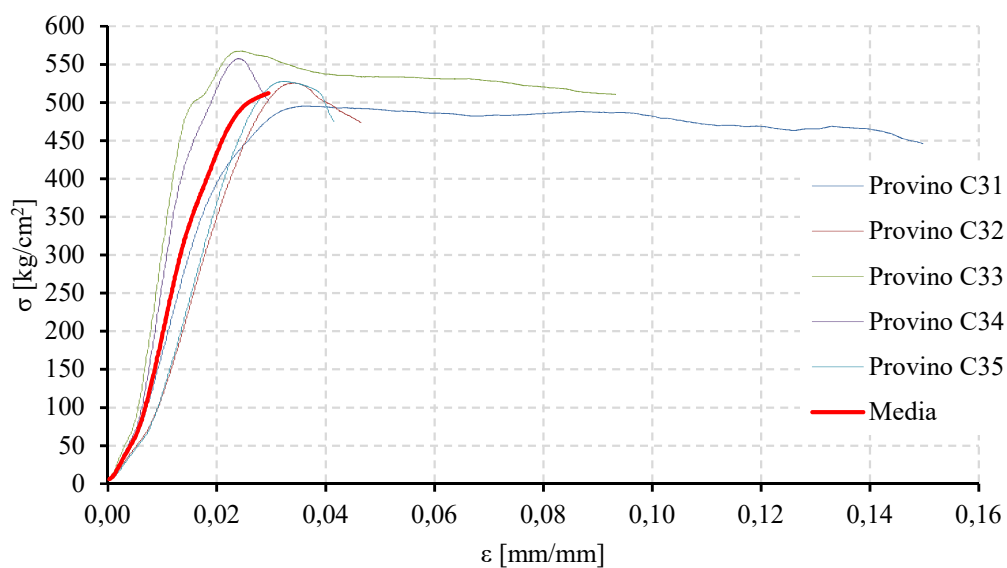


Fig. 5.149 Diagramma riepilogativo σ - ϵ (gruppo provini P.I.6.F)

Su uno stesso grafico, sono state riportate tutte le curve compresa la media, al fine di visualizzare in maniera chiara sia il rapporto esistente tra i risultati di ciascuna prova e il comportamento medio, sia il range entro il quale i valori si collocano.

Nella tabella che segue si sono riportati i valori notevoli delle prove, ovvero quelli al limite elastico, massimi e al limite ultimo (Tab. 5.67).

PROVINO	CARICO F [kN]	TENSIONE σ [kg/cm ²]	DEFORMAZIONE ε [mm/mm]	CONDIZIONE
C31	17,02	425,41	0,0228	Elastica
	19,82	495,41	0,0363	Massima
	17,84	446,05	0,1498	Ultima
C32	19,00	499,92	0,0293	Elastica
	19,97	525,41	0,0343	Massima
	17,99	473,39	0,0465	Ultima
C33	18,84	495,84	0,0153	Elastica
	21,56	567,36	0,0248	Massima
	19,40	510,65	0,0933	Ultima
C34	16,79	441,86	0,0153	Elastica
	21,18	557,35	0,0243	Massima
	19,08	502,19	0,0295	Ultima
C35	18,08	475,66	0,0255	Elastica
	20,05	527,58	0,0328	Massima
	18,06	475,25	0,0415	Ultima
Media dei massimi	20,52	534,62	0,0305	/
Media grafica massimi	19,66	512,26	0,0295	

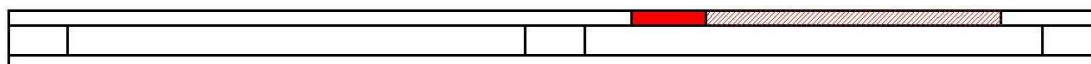
Tab. 5.67 Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.6.F

Risultati delle prove: gruppo P.I.7.F

Il gruppo P.I.7.F è costituito dai seguenti provini:

- provino C36 (dimensioni 40x19x19 mm);
- provino C37 (dimensioni 40x19x19 mm);
- provino C38 (dimensioni 40x19x20 mm);
- provino C39 (dimensioni 40x19x19 mm);
- provino C40 (dimensioni 40x19x19 mm).

Si riporta, di seguito, una figura illustrativa all'interno della quale viene specificata la porzione di legno strutturale da cui sono stati estratti i provini di legno netto.



Risultati provino C36

Il comportamento del provino C36 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.150) e tensione-deformazione (Fig. 5.151) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.68) e la documentazione fotografica (Fig. 5.152). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

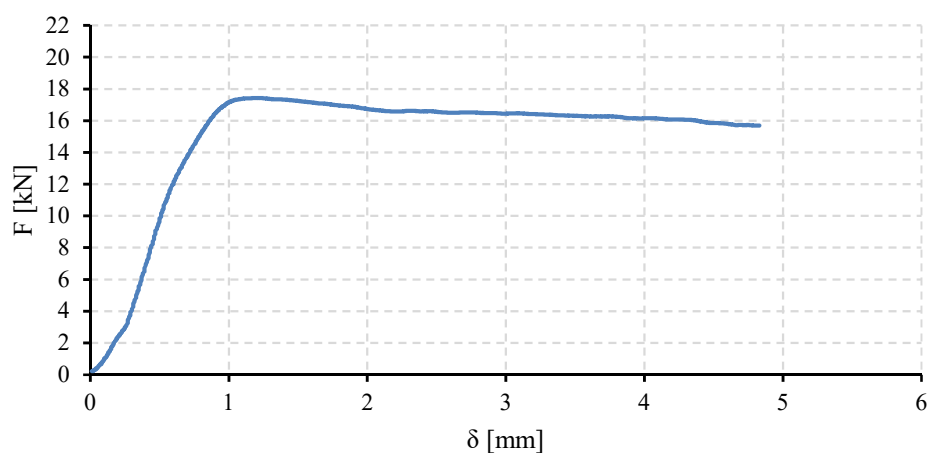


Fig. 5.150 Diagramma F- δ (provino C36)

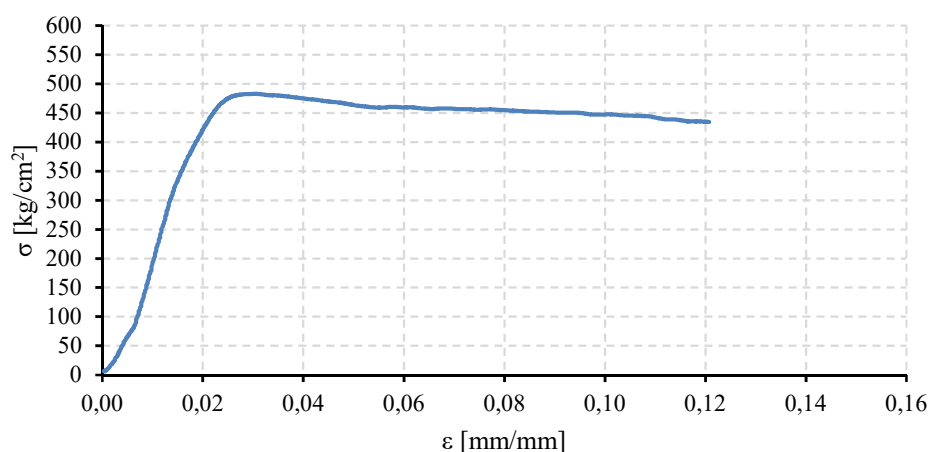


Fig. 5.151 Diagramma σ - ϵ (provino C36)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 427,59 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 482,72 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 434,59 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	09/05/2016
DIMENSIONI	19x19x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
15,44	427,59	0,0205	Elastica
17,43	482,72	0,0308	Massima
15,69	434,59	0,1208	Ultima

Tab. 5.68 Scheda riepilogativa provino C36



Fig. 5.152 Foto provino C36

Risultati provino C37

Il comportamento del *provino* C37 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.153) e tensione-deformazione (Fig. 5.154) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.69) e la documentazione fotografica (Fig. 5.155). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

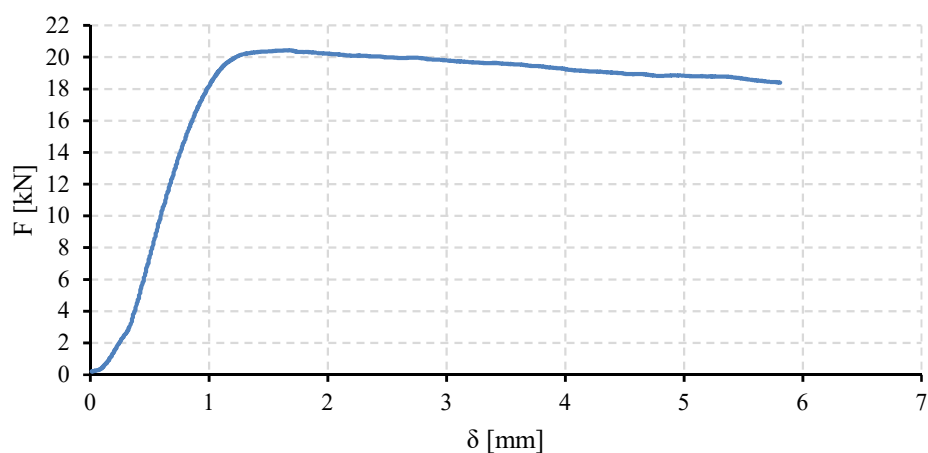


Fig. 5.153 Diagramma F - δ (provino C37)

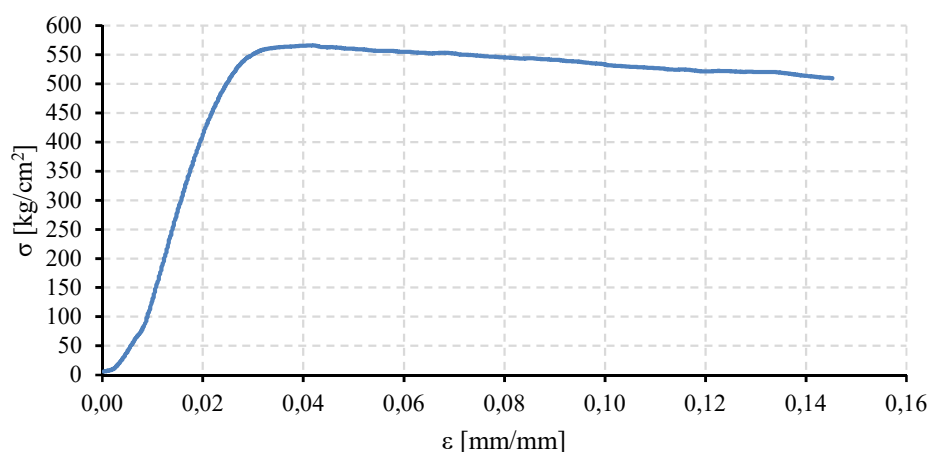


Fig. 5.154 Diagramma σ - ϵ (provino C37)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 509,17 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 565,83 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 509,39 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	09/05/2014
DIMENSIONI	19x19x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
18,38	491,14	0,0243	Elastica
20,43	565,83	0,0423	Massima
18,38	509,39	0,1453	Ultima

Tab. 5.69 Scheda riepilogativa provino C37

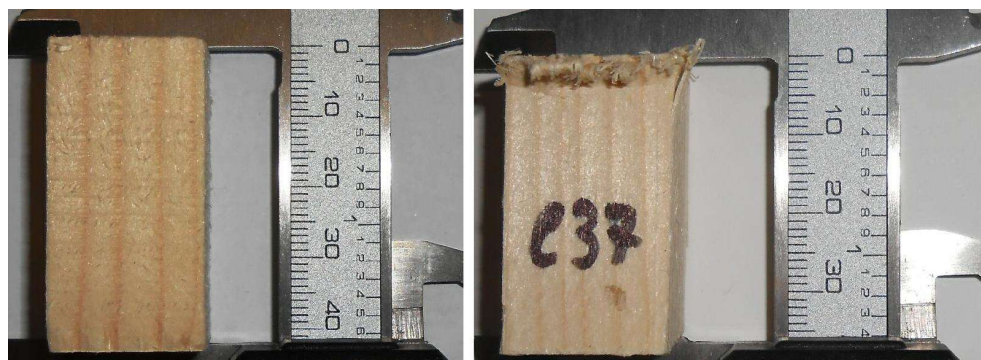


Fig. 5.155 Foto provino C37

Risultati provino C38

Il comportamento del *provino* C38 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.156) e tensione-deformazione (Fig. 5.157) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.70) e la documentazione fotografica (Fig. 5.158). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

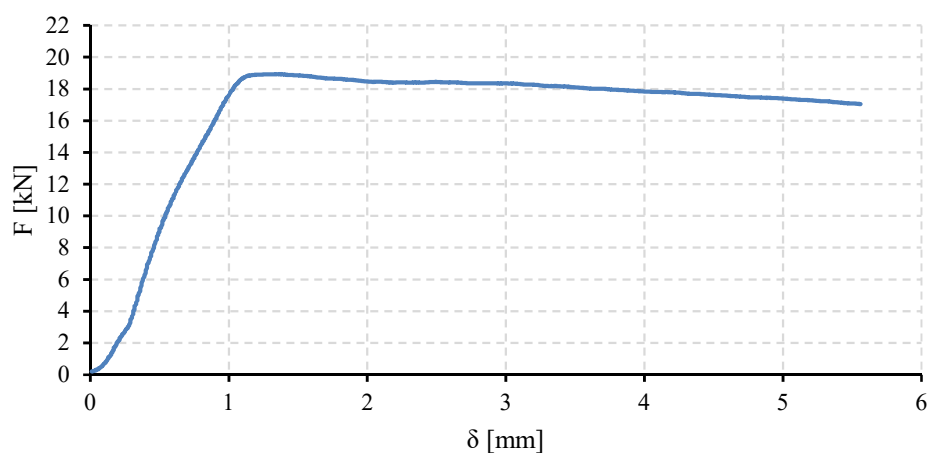


Fig. 5.156 Diagramma F - δ (provino C38)

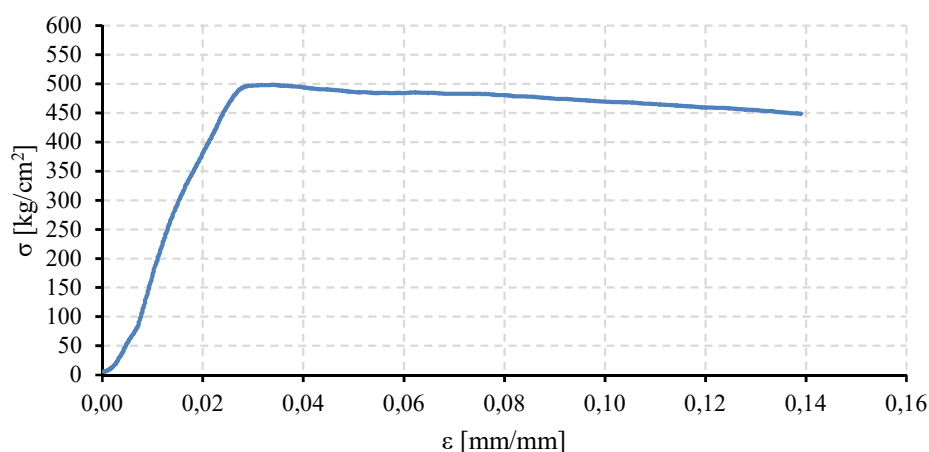


Fig. 5.157 Diagramma σ - ϵ (provino C38)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 453,32 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 498,06 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 448,42 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	09/05/2016
DIMENSIONI	19x20x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
17,23	453,32	0,0243	Elastica
18,93	498,06	0,0343	Massima
17,04	448,42	0,1390	Ultima

Tab. 5.70 Scheda riepilogativa provino C38

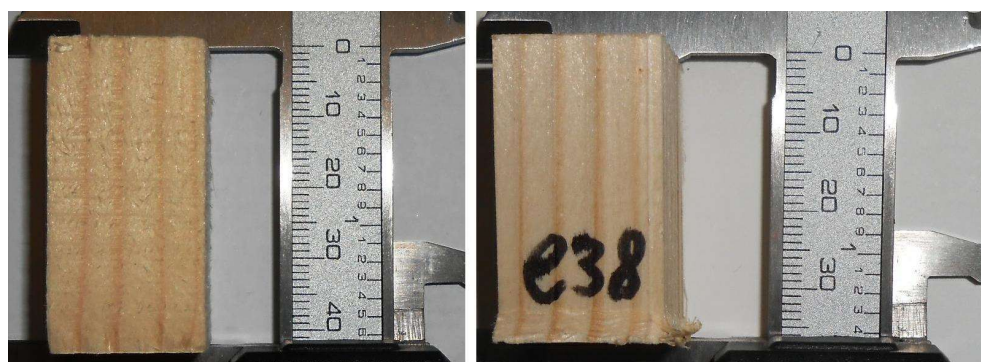


Fig. 5.158 Foto provino C38

Risultati provino C39

Il comportamento del *provino* C39 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.159) e tensione-deformazione (Fig. 5.160) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.71) e la documentazione fotografica (Fig. 5.161). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

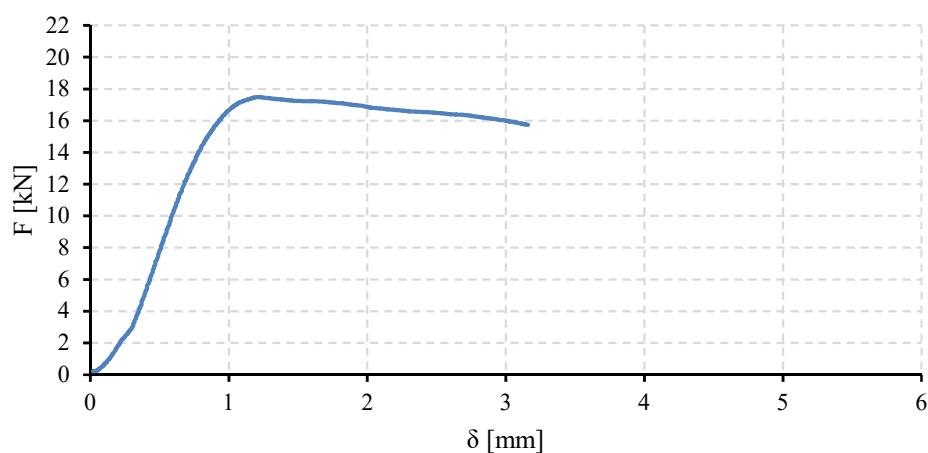


Fig. 5.159 Diagramma F - δ (provino C39)

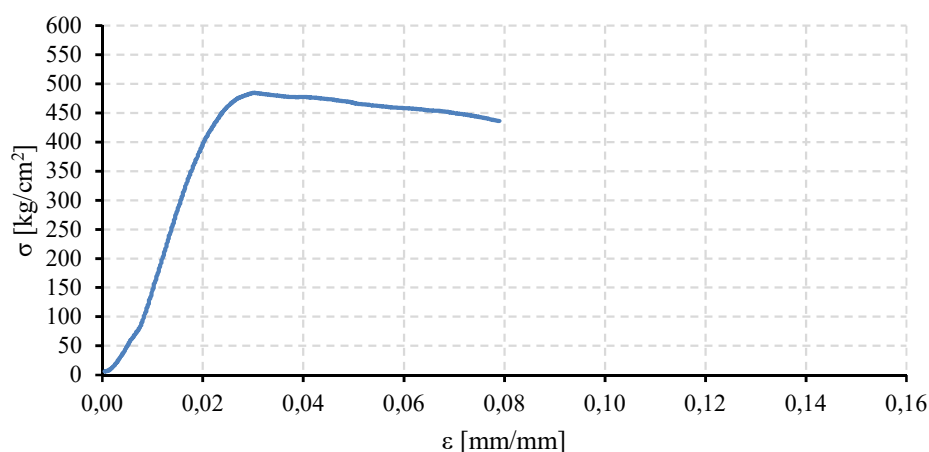


Fig. 5.160 Diagramma σ - ϵ (provino C39)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 431,77 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 484,35 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 436,06 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	09/05/2016
DIMENSIONI	19x19x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
15,59	431,77	0,0223	Elastica
17,49	484,35	0,0305	Massima
15,74	436,06	0,0790	Ultima

Tab. 5.71 Scheda riepilogativa provino C39

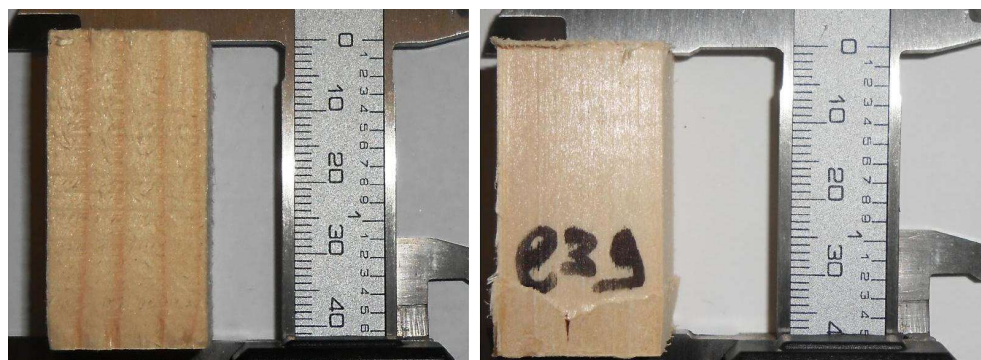


Fig. 5.161 Foto provino C39

Risultati provino C40

Il comportamento del *provino C40* è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.162) e tensione-deformazione (Fig. 5.163) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.72) e la documentazione fotografica (Fig. 5.164). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

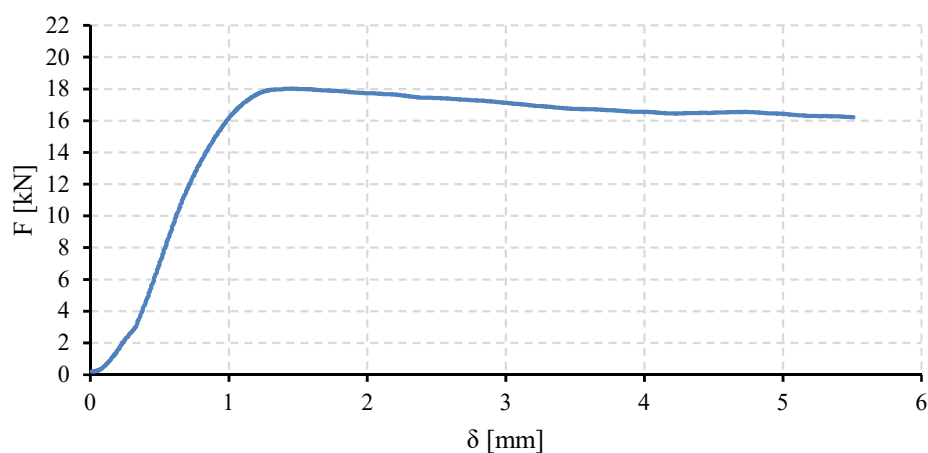


Fig. 5.162 Diagramma F - δ (provino C40)

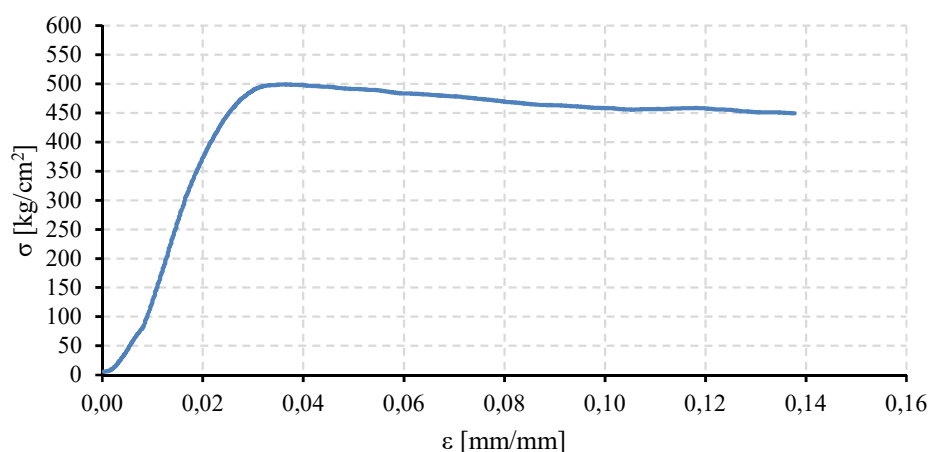


Fig. 5.163 Diagramma σ - ϵ (provino C40)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 437,69 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 499,07 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 449,26 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	09/05/2016
DIMENSIONI	20x19x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
15,80	437,69	0,0243	Elastica
18,02	499,07	0,0360	Massima
16,22	449,26	0,1378	Ultima

Tab. 5.72 Scheda riepilogativa provino C40

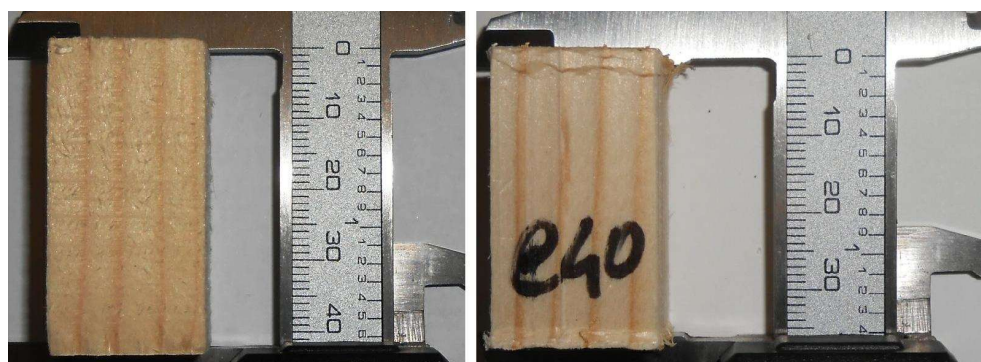


Fig. 5.164 Foto provino C40

Riepilogo dei risultati del Gruppo P.I.7.F

Al fine di ottenere un quadro riepilogativo delle prove del gruppo di provini P.I.7.F è utile effettuare una media di tutti i valori ottenuti e tracciare i diagrammi medi forza-spostamento (Fig. 5.165) e tensione deformazione (Fig. 5.166). Questi diagrammi medi sono stati ottenuti a parità di deformazione. Quindi fissando una deformazione, si è effettuata la media dei valori di forza delle singole prove. Questa media non corrisponde alla media dei valori massimi di resistenza ottenuti dalle prove. Infatti nella scheda riepilogativa (Tab.5.73) viene riportato il valore medio massimo registrato dalle prove e il valore medio massimo grafico.

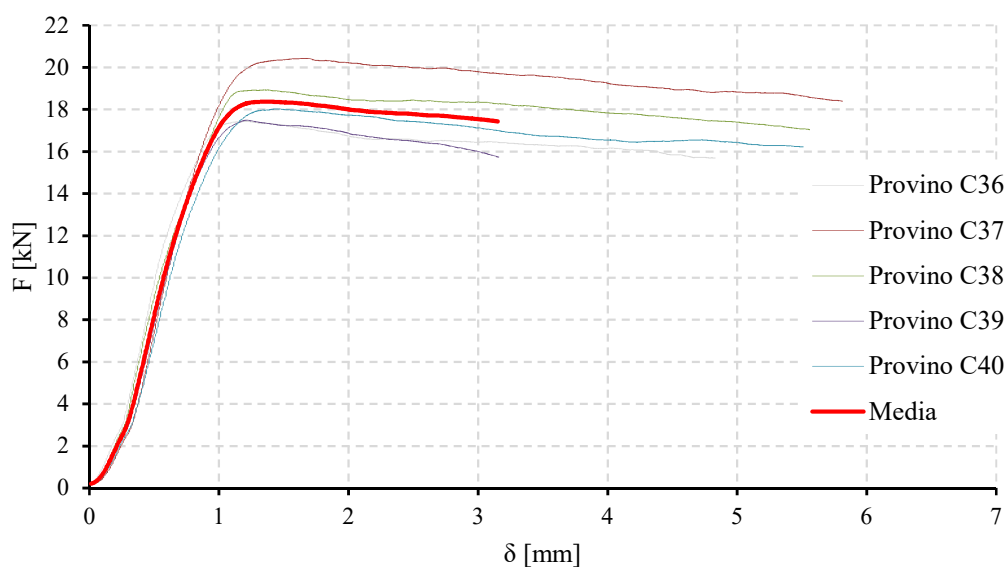


Fig. 5.165 Diagramma riepilogativo F - δ (gruppo provini P.I.7.F)

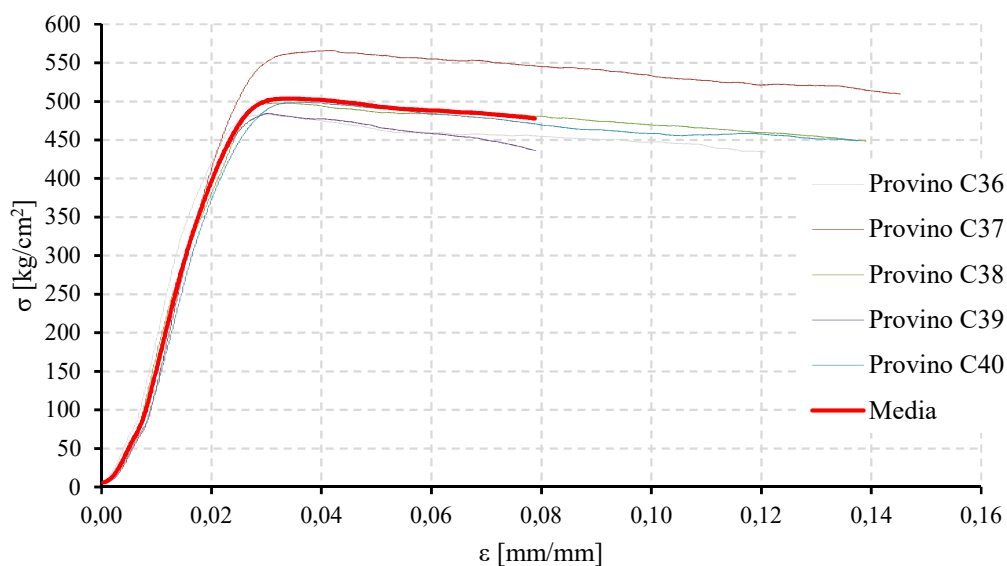


Fig. 5.166 Diagramma riepilogativo σ - ϵ (gruppo provini P.I.7.F)

Su uno stesso grafico, sono state riportate tutte le curve compresa la media, al fine di visualizzare in maniera chiara sia il rapporto esistente tra i risultati di ciascuna prova e il comportamento medio, sia il range entro il quale i valori si collocano.

Nella tabella che segue si sono riportati i valori notevoli delle prove, ovvero quelli al limite elastico, massimi e al limite ultimo (Tab. 5.73).

PROVINO	CARICO F [kN]	TENSIONE σ [kg/cm ²]	DEFORMAZIONE ϵ [mm/mm]	CONDIZIONE
C36	15,44	427,59	0,0205	Elastica
	17,43	482,72	0,0308	Massima
	15,69	434,59	0,1208	Ultima
C37	17,73	491,14	0,0243	Elastica
	20,43	565,83	0,0423	Massima
	18,38	509,39	0,1453	Ultima
C38	17,23	453,32	0,0243	Elastica
	18,93	498,06	0,0343	Massima
	17,04	448,42	0,1390	Ultima
C39	15,59	431,77	0,0223	Elastica
	17,49	484,35	0,0305	Massima
	15,74	436,06	0,0790	Ultima
C40	15,80	437,69	0,0243	Elastica
	18,02	499,07	0,0360	Massima
	16,22	449,26	0,1378	Ultima
Media dei massimi	18,46	506,01	0,0348	/
Media grafica massimi	18,37	503,54	0,0355	

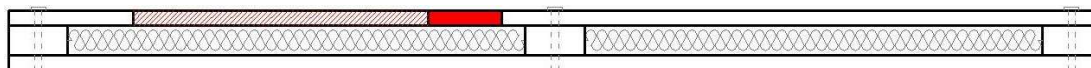
Tab. 5.73 Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.7.F

Risultati delle prove: gruppo P.I.8.F

Il gruppo P.I.8.F è costituito dai seguenti provini:

- provino C41 (dimensioni 40x19x19 mm);
- provino C42 (dimensioni 40x19x19 mm);
- provino C43 (dimensioni 40x20x20 mm);
- provino C44 (dimensioni 40x19x20 mm);
- provino C45 (dimensioni 40x19x19 mm).

Si riporta, di seguito, una figura illustrativa all'interno della quale viene specificata la porzione di legno strutturale da cui sono stati estratti i provini di legno netto.



Risultati provino C41

Il comportamento del provino C41 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.167) e tensione-deformazione (Fig. 5.168) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.74) e la documentazione fotografica (Fig. 5.169). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

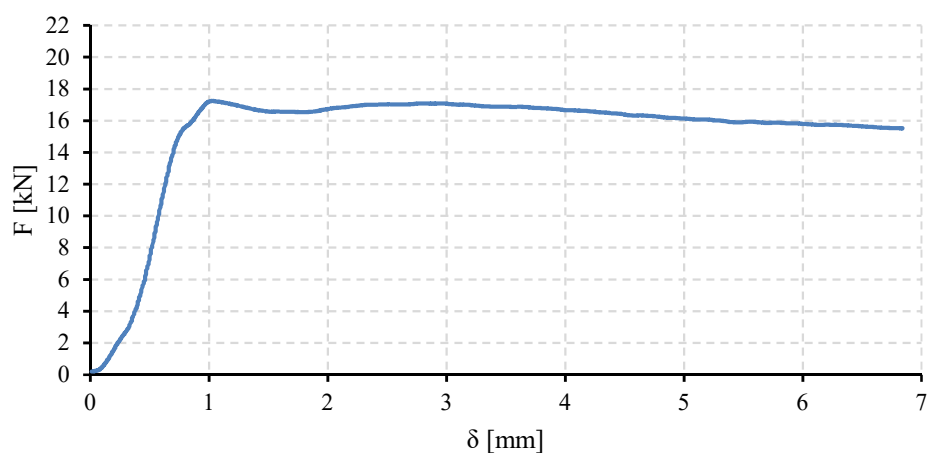


Fig. 5.167 Diagramma F- δ (provino C41)

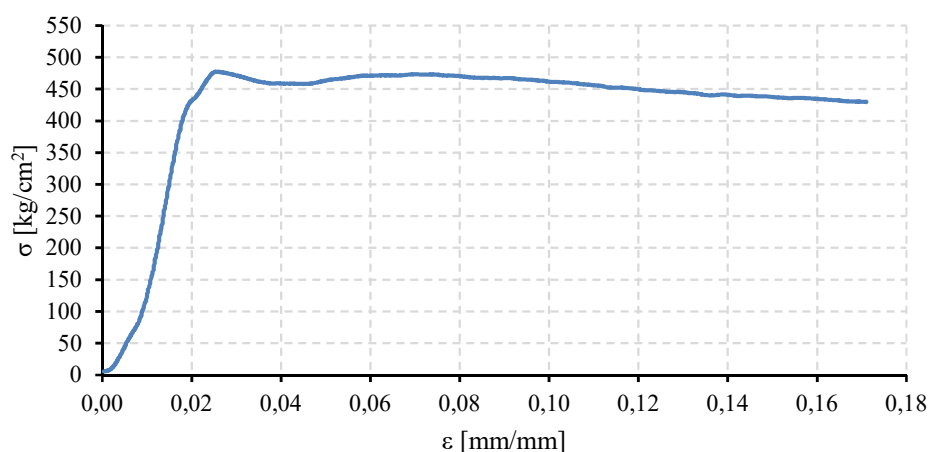


Fig. 5.168 Diagramma σ - ϵ (provino C41)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 402,93 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 477,45 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 429,81 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	09/05/2016
DIMENSIONI	19x19x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
14,55	402,93	0,0180	Elastica
17,24	477,45	0,0260	Massima
15,52	429,81	0,1710	Ultima

Tab. 5.74 Scheda riepilogativa provino C41

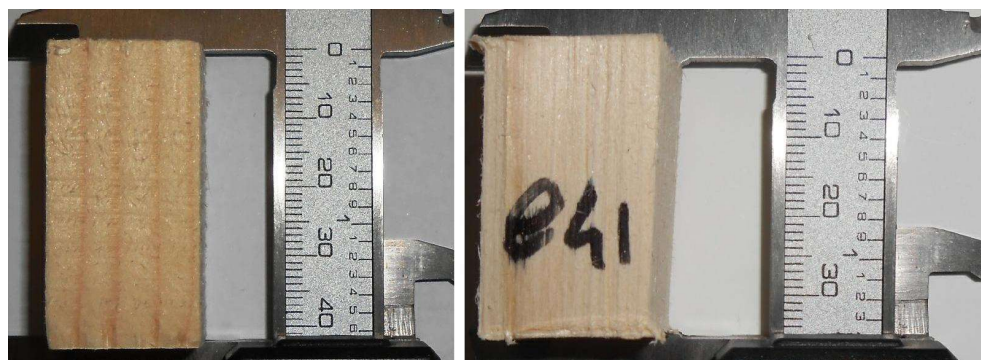


Fig. 5.169 Foto provino C41

Risultati provino C42

Il comportamento del provino C42 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.170) e tensione-deformazione (Fig. 5.171) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.75) e la documentazione fotografica (Fig. 5.172). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

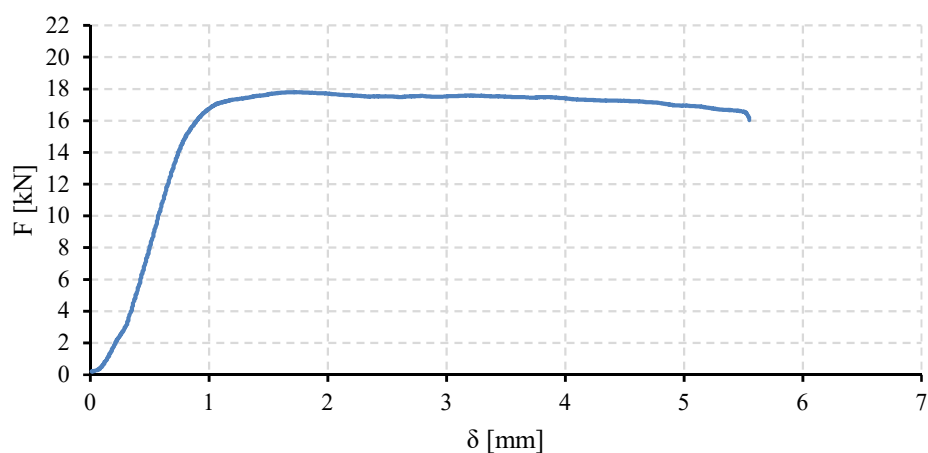


Fig. 5.170 Diagramma F- δ (provino C42)

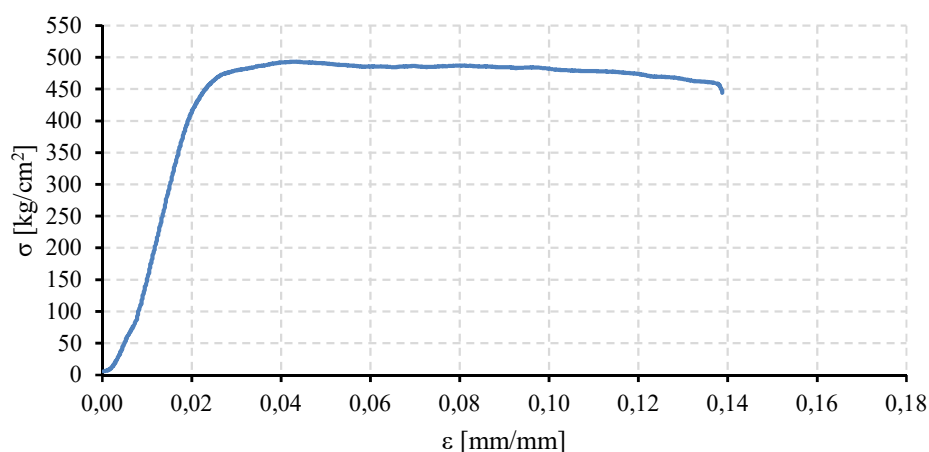


Fig. 5.171 Diagramma σ - ϵ (provino C42)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 388,37 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 492,99 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 444,10 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	09/05/2016
DIMENSIONI	19x19x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
14,02	388,37	0,0185	Elastica
17,80	492,99	0,0423	Massima
16,03	444,10	0,1388	Ultima

Tab. 5.75 Scheda riepilogativa provino C42

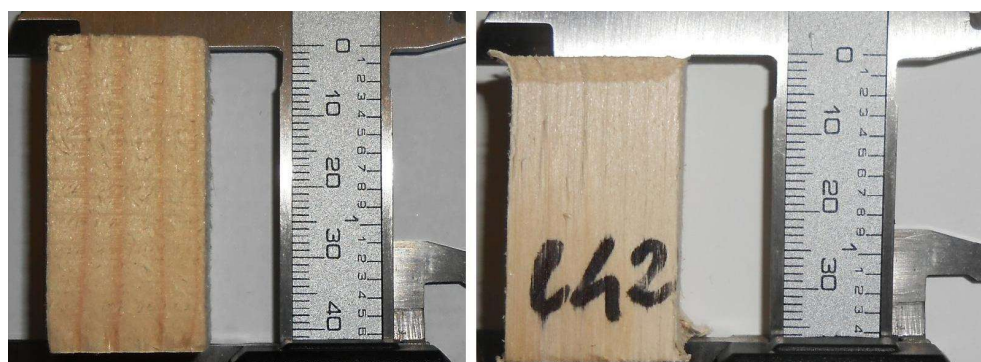


Fig. 5.172 Foto provino C42

Risultati provino C43

Il comportamento del provino C43 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.173) e tensione-deformazione (Fig. 5.174) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.76) e la documentazione fotografica (Fig. 5.175). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

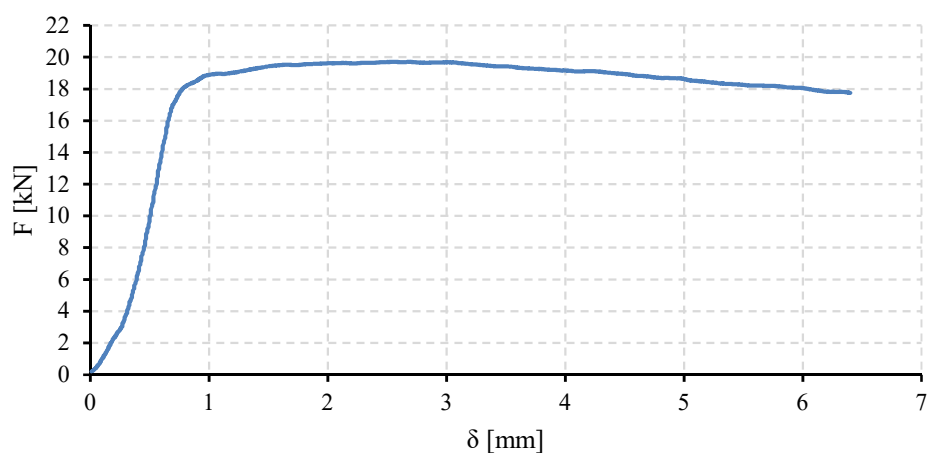


Fig. 5.173 Diagramma F - δ (provino C43)

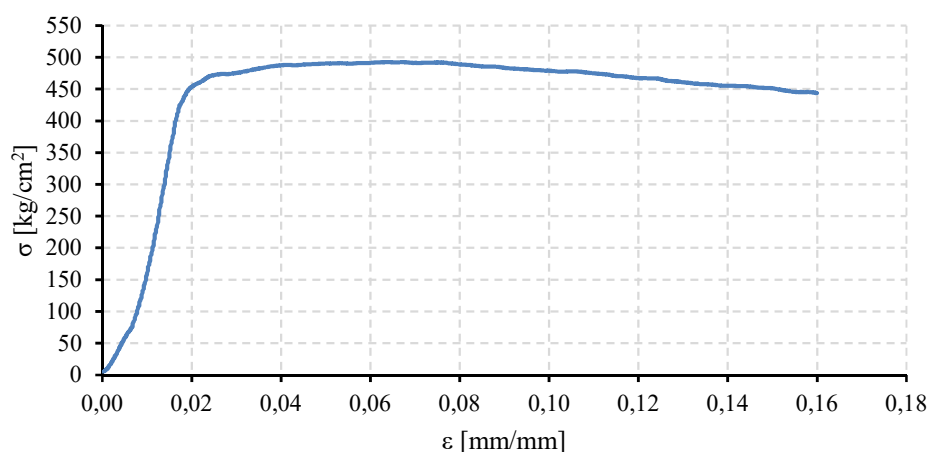


Fig. 5.174 Diagramma σ - ϵ (provino C43)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 398,15 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 492,72 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 443,55 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	09/05/2016
DIMENSIONI	20x20x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ϵ [mm/mm]	CONDIZIONE
15,93	398,15	0,0163	Elastica
19,71	492,72	0,0673	Massima
17,74	443,55	0,1600	Ultima

Tab. 5.76 Scheda riepilogativa provino C43

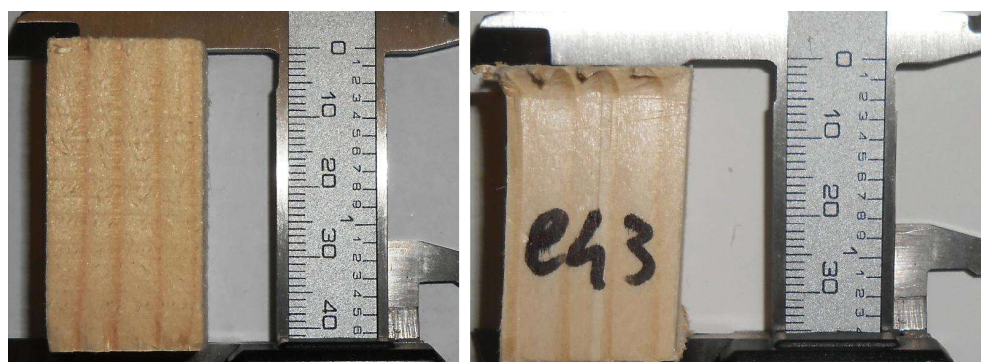


Fig. 5.175 Foto provino C43

Risultati provino C44

Il comportamento del provino C44 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.176) e tensione-deformazione (Fig. 5.177) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.77) e la documentazione fotografica (Fig. 5.178). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

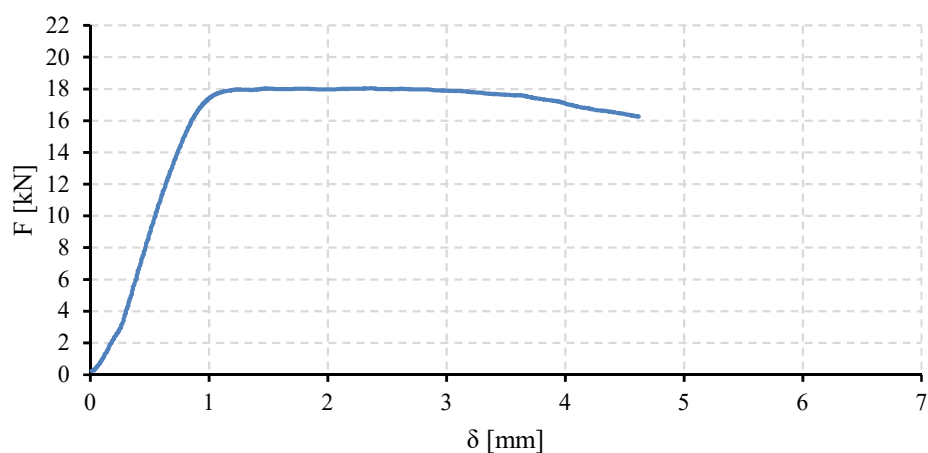


Fig. 5.176 Diagramma F- δ (provino C44)

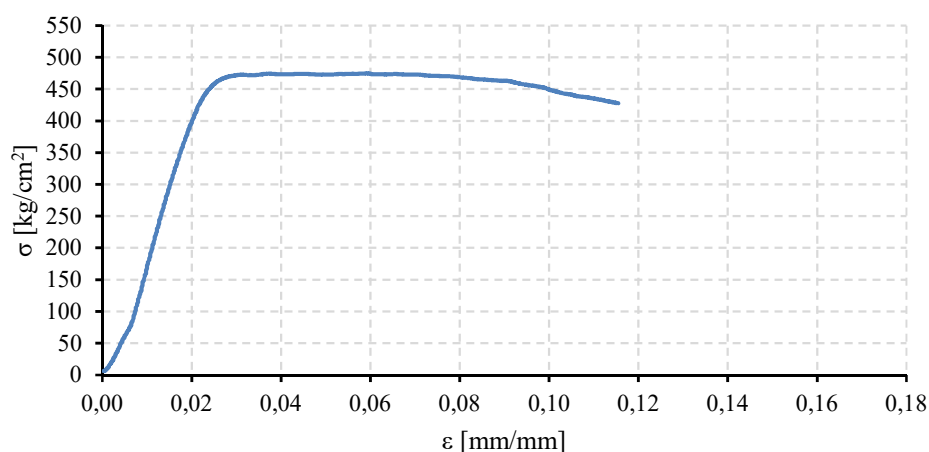


Fig. 5.177 Diagramma σ - ϵ (provino C44)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 413,64 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 474,89 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 427,67 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	09/05/2016
DIMENSIONI	19x20x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
15,72	413,64	0,0210	Elastica
18,05	474,89	0,0593	Massima
16,25	427,67	0,1155	Ultima

Tab. 5.77 Scheda riepilogativa provino C44

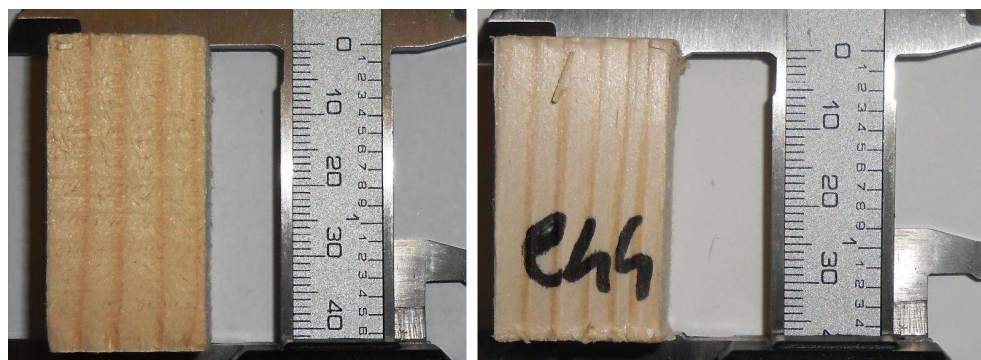


Fig. 5.178 Foto provino C44

Risultati provino C45

Il comportamento del provino C45 è caratterizzato da un primo accorciamento a cui è seguito un'iniziale inclinazione, causa di uno schiacciamento dello spigolo di base.

Di seguito si riportano i diagrammi forza-spostamento (Fig. 5.179) e tensione-deformazione (Fig. 5.180) per il provino in esame, una scheda riassuntiva (Tab. 5.78) e la documentazione fotografica (Fig. 5.181). Nel diagramma σ - ϵ la deformazione ϵ è valutata come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino. Quest'ultima non è propriamente corretta, in quanto lo strumento di misura dell'accorciamento non ha una risoluzione al centesimo di millimetro e quindi, gli accorciamenti misurati sono affetti da un errore sistematico della macchina. In questo caso da questi grafici sono stati considerati solo le forze e le tensioni.

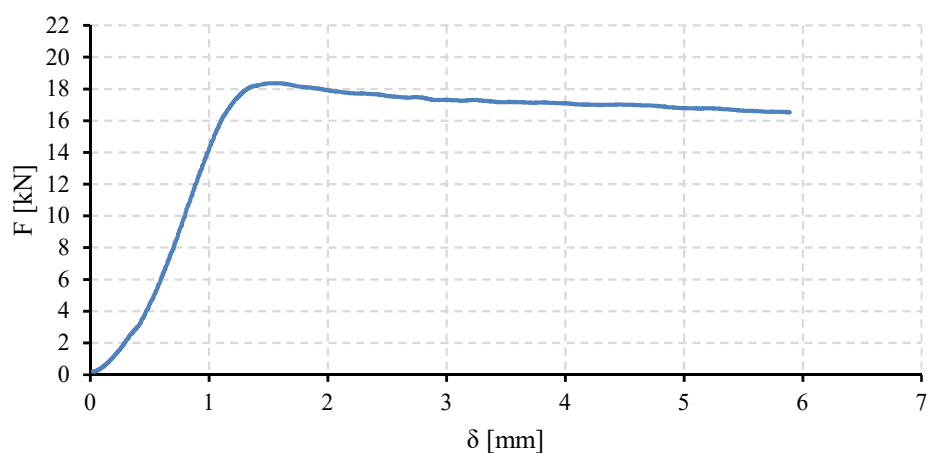


Fig. 5.179 Diagramma F- δ (provino C45)

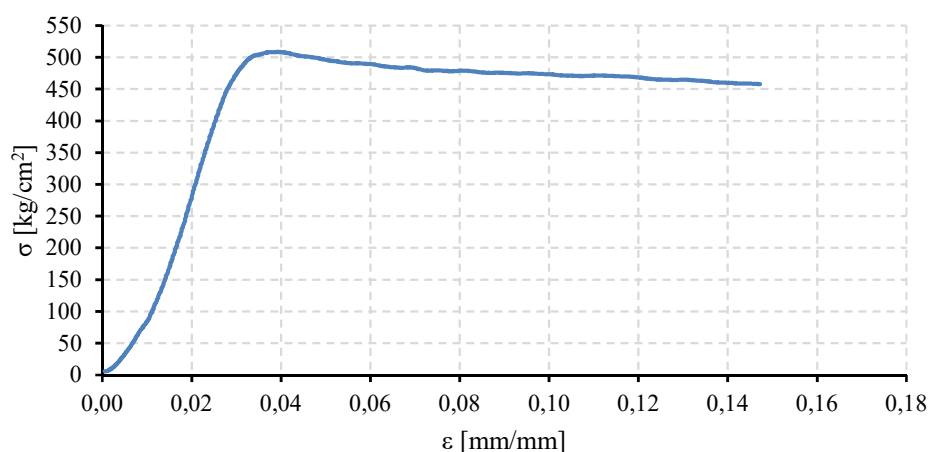


Fig. 5.180 Diagramma σ - ϵ (provino C45)

Come si può notare dal diagramma σ - ϵ , il provino mostra un comportamento perfettamente elastico lineare fino ad una tensione di 434,97 kg/cm², dopodiché la curva cresce, in maniera non lineare, fino al raggiungimento della tensione massima pari a 508,47 kg/cm². Raggiunta la resistenza massima del provino, la curva decresce raggiungendo la tensione ultima pari a 457,73 kg/cm².

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	09/05/2016
DIMENSIONI	19x19x40 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Legno netto – Abete Austriaco
TIPO DI PROVA	Compressione semplice (monotona)
DIREZIONE DELLA FORZA	Parallela alle fibre
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della tensione massima del legno

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F [kN]	tensione σ [kg/cm ²]	deformazione ε [mm/mm]	CONDIZIONE
15,70	434,97	0,0270	Elastica
18,36	508,47	0,0398	Massima
16,52	457,73	0,1473	Ultima

Tab. 5.78 Scheda riepilogativa provino C45

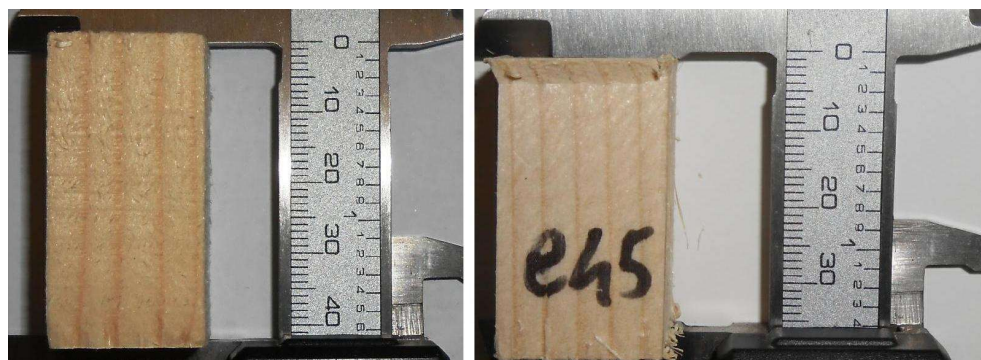


Fig. 5.181 Foto provino C45

Riepilogo dei risultati del Gruppo P.I.8.F

Al fine di ottenere un quadro riepilogativo delle prove del gruppo di provini P.I.8.F è utile effettuare una media di tutti i valori ottenuti e tracciare i diagrammi medi forza-spostamento (Fig. 5.182) e tensione deformazione (Fig. 5.183). Questi diagrammi medi sono stati ottenuti a parità di deformazione. Quindi fissando una deformazione, si è effettuata la media dei valori di forza delle singole prove. Questa media non corrisponde alla media dei valori massimi di resistenza ottenuti dalle prove. Infatti nella scheda riepilogativa (Tab.5.79) viene riportato il valore medio massimo registrato dalle prove e il valore medio massimo grafico.

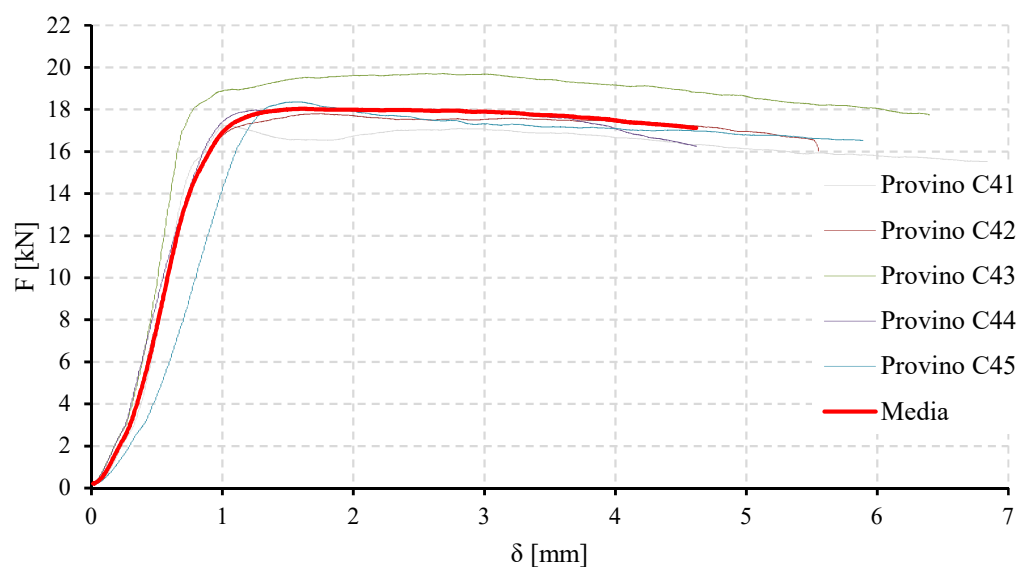


Fig. 5.182 Diagramma riepilogativo F - δ (gruppo provini P.I.8.F)

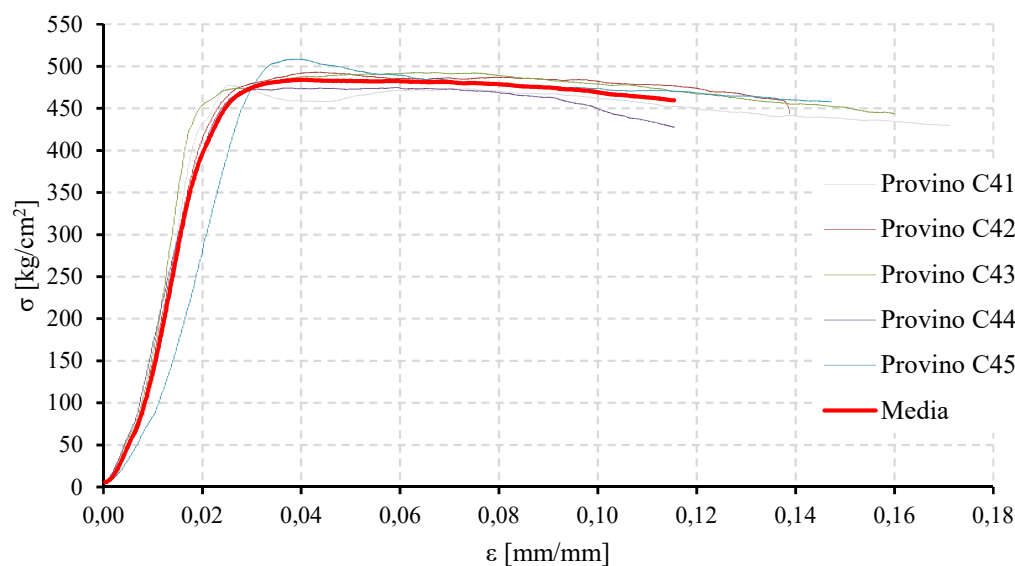


Fig. 5.183 Diagramma riepilogativo σ - ϵ (gruppo provini P.I.8.F)

Su uno stesso grafico, sono state riportate tutte le curve compresa la media, al fine di visualizzare in maniera chiara sia il rapporto esistente tra i risultati di ciascuna prova e il comportamento medio, sia il range entro il quale i valori si collocano.

Nella tabella che segue si sono riportati i valori notevoli delle prove, ovvero quelli al limite elastico, massimi e al limite ultimo (Tab. 5.79).

PROVINO	CARICO F [kN]	TENSIONE σ [kg/cm ²]	DEFORMAZIONE ϵ [mm/mm]	CONDIZIONE
C41	14,55	402,93	0,0180	Elastica
	17,24	477,45	0,0260	Massima
	15,52	429,81	0,1710	Ultima
C42	14,02	388,37	0,0185	Elastica
	17,80	492,99	0,0423	Massima
	16,03	444,10	0,1388	Ultima
C43	15,93	398,15	0,0163	Elastica
	19,71	492,72	0,0673	Massima
	17,74	443,55	0,1600	Ultima
C44	15,72	413,64	0,0210	Elastica
	18,05	474,89	0,0593	Massima
	16,25	427,67	0,1155	Ultima
C45	15,70	434,97	0,0270	Elastica
	18,36	508,47	0,0398	Massima
	16,52	457,73	0,1473	Ultima
Media dei massimi	18,23	489,30	0,0469	/
Media grafica massimi	18,03	483,83	0,0416	

Tab. 5.79 Scheda riepilogativa dei risultati del gruppo P.I.7.F

Riepilogo dei risultati medi

Al fine di ottenere un quadro riepilogativo dei provini testati, è utile effettuare una media di tutti i valori ottenuti (nella condizione massima) e tracciare i diagrammi medi forza-spostamento (Fig. 5.184) e tensione-deformazione (Fig. 5.185). Questi diagrammi medi sono stati ottenuti a parità di deformazione. Quindi fissando una deformazione, si è effettuata la media dei valori di forza delle singole prove. Questa media non corrisponde alla media dei valori massimi di resistenza ottenuti dalle prove. Infatti nella scheda riepilogativa (Tab.5.80) viene riportato il valore medio massimo registrato dalle prove e il valore medio massimo grafico.

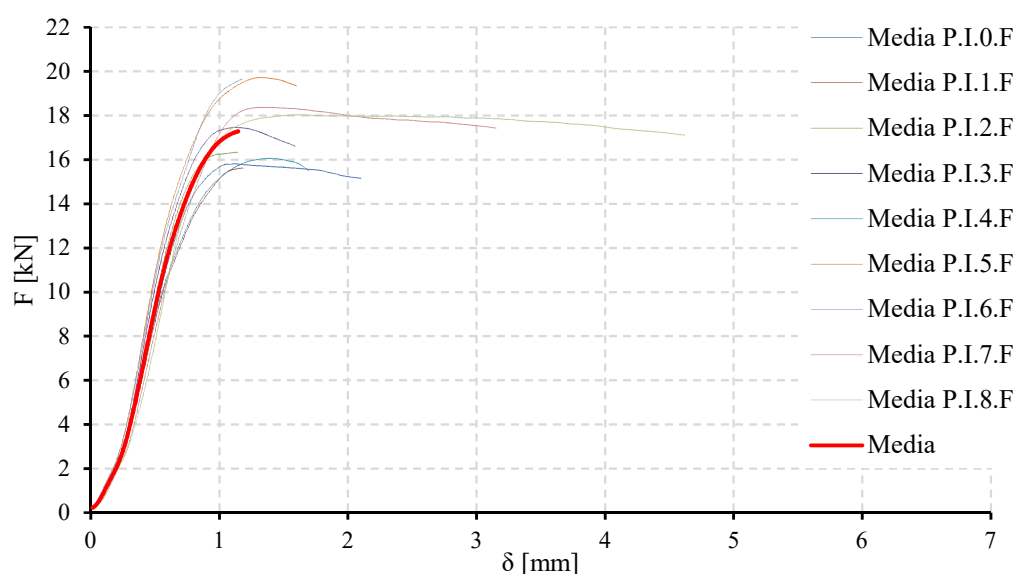


Fig. 5.184 Diagramma riepilogativo medio F - δ

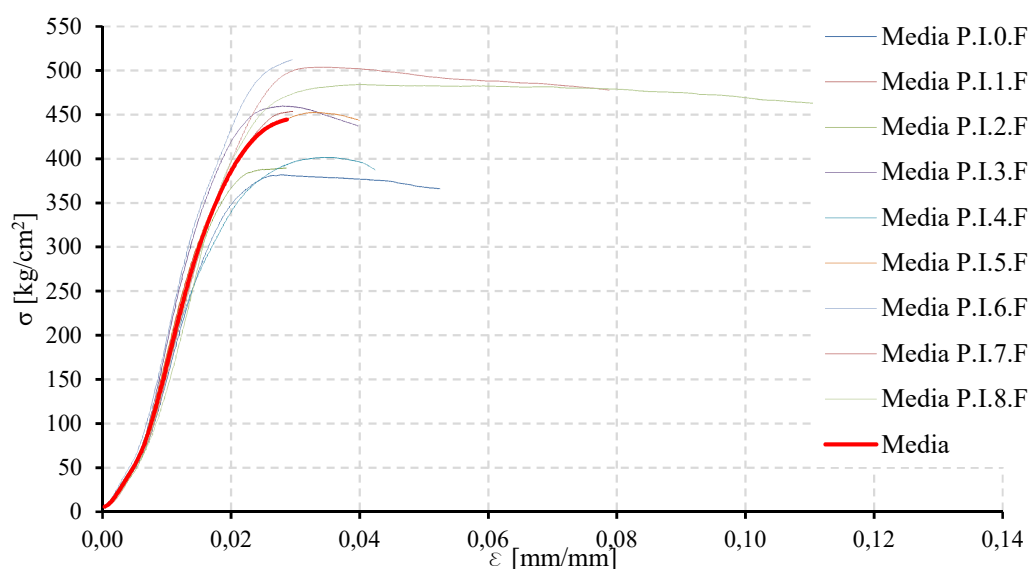


Fig. 5.185 Diagramma riepilogativo medio σ - ε

Si riporta, di seguito, una tabella riepilogativa contenente i risultati medi ottenuti dalle prove di compressione sui provini di legno netto (Tab. 5.80).

GRUPPO	CARICO F [kN]	TENSIONE σ [kg/cm ²]	DEFORMAZIONE ε [mm/mm]	CONDIZIONE
P.I.0.F	15,98	388,74	0,0333	MEDIA
P.I.1.F	16,37	476,26	0,0313	
P.I.2.F	17,68	420,58	0,0286	
P.I.3.F	17,86	469,89	0,0277	
P.I.4.F	16,33	408,20	0,0310	
P.I.5.F	20,23	463,94	0,0344	
P.I.6.F	20,52	534,62	0,0305	
P.I.7.F	18,46	506,01	0,0348	
P.I.8.F	18,23	489,30	0,0469	
Media della media massimi	17,96	461,95	0,0332	/
Media della media grafica massimi	17,46	448,63	0,0322	

Tab. 5.80 Scheda riepilogativa dei risultati medi

5.4 Prove a taglio indiretto su EPS (GRUPPO D)

Il programma di prove ha previsto l'esecuzione di n.6 prove a taglio indiretto (flessione su "3 punti forza") su provini di legno *Porepan*, costituiti da Abete Austriaco (C24) ed eps, di dimensioni 400x185x265 mm (LxBxS). Questi sono costituiti da tre tavole in legno strutturale con interposto eps. Le tavole hanno spessore 40 mm mentre lo strato di eps ha uno spessore di circa 7 mm (Fig. 5.186). Le prove sono state effettuate ai fini della determinazione della rigidità tagliente, della resistenza a taglio e della tipologia di rottura dell'eps.

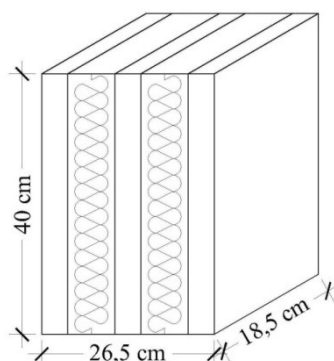


Fig. 5.186 Dimensioni dei provini da testare (prove a taglio indiretto)

Essendo il legno, molto più resistente dell'eps la presenza dei difetti quali nodi, deviazione della fibratura e fratture interne non inficeranno i risultati della prova in quanto la rottura si avrà sempre dalla parte dell'eps.

Le prove a taglio indiretto sono state effettuate fuori norma con velocità di prova di circa 5 mm/min. L'apparecchio di prova utilizzato è la macchina per prove a flessione della Metrocom di proprietà della G.R. Sistemi già descritta nel Capitolo 3 ("Descrizione delle macchine di prova").

Set-up di prova

Per ottenere dei buoni risultati di prova, si è fatta particolare attenzione sia al posizionamento del provino sotto la macchina sia nel predisporre tutti gli strumenti di misura necessari all'acquisizione dei dati. Per eliminare qualsiasi eccentricità nell'applicazione al carico, il provino deve essere centrato rispetto all'attuatore e rispetto, quindi, al banco di prova.

Per il centraggio del provino sul banco di prova, su quest'ultimo sono state tracciate tre linee, due linee rappresentanti le direzioni degli appoggi ed una rappresentante la direzione di carico. In base a queste si sono fissati gli appoggi secondo la configurazione di prova riportata in Figura 5.187.

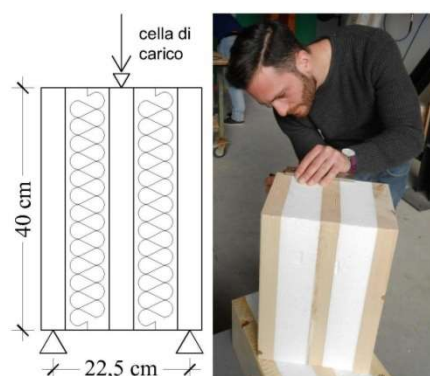


Fig. 5.187 Configurazione di prova (prove a taglio indiretto)

Infine, il provino, è stato poggiato sugli appoggi, facendo coincidere le linee tracciate su provino, appoggio, banco di prova (Fig. 5.188).

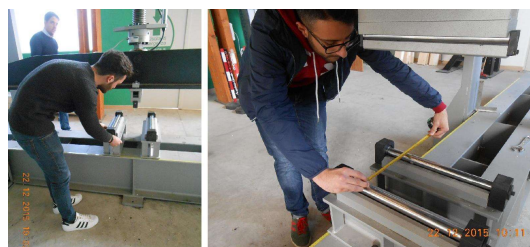


Fig. 5.188 Posizionamento appoggi e coltello di carico

I dati di output della strumentazione di prova sono:

- durata della prova [sec];
- forza dell'attuatore [kN];
- abbassamento [mm].

I dati sono stati utilizzati per ottenere dei diagrammi forza-spostamento.

Suddivisione e dimensioni dei provini

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa contenente le caratteristiche geometriche dei provini testati a taglio e la velocità di prova (Tab. 5.81).

Gruppo	Sotto-Gruppo	Provino	Lunghezza [cm]	Larghezza [cm]	Spessore [cm]	Velocità di prova [mm/min]
D	D1	T1	40	26,5	18,5	5
		T2	40	26,5	18,5	5
		T3	40	26,5	18,5	5
	D2	T4	40	26,5	18,5	5
		T5	40	26,5	18,5	5
		T6	40	26,5	18,5	1

Tab. 5.81 Caratteristiche geometriche dei provini testati a taglio

Risultati delle prove: gruppo D1

Il gruppo D1 è costituito dai seguenti provini:

- provino T1 (dimensioni 40x26,5x18,5 cm);
- provino T2 (dimensioni 40x26,5x18,5 cm);
- provino T3 (dimensioni 40x26,5x18,5 cm).

Risultati provino T1

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-spostamento relativo al potenziometro a filo in mezzeria (Fig. 5.189). Poiché la macchina di prova registra per step di abbassamento viene presentato un diagramma “a gradino”. I risultati della prova sono stati interpolati con un polinomio di sesto ordine al fine di ottenere una curva che si avvicinasse di più al comportamento reale della prova.

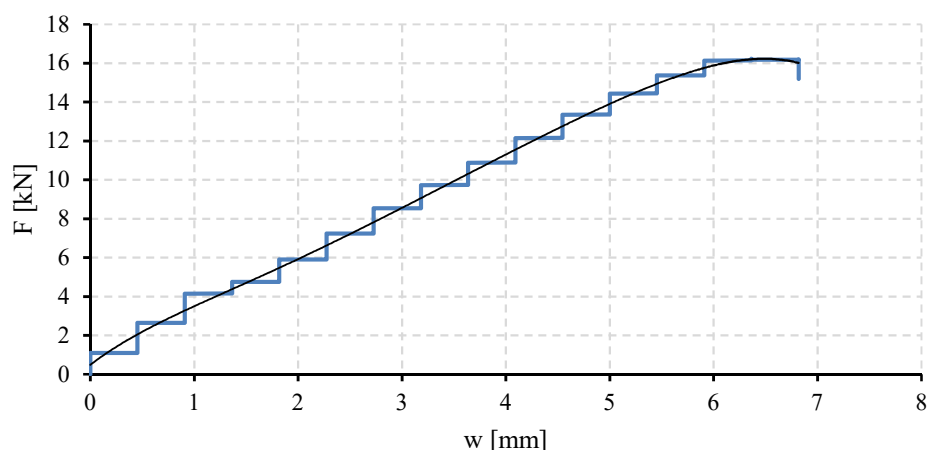


Fig. 5.189 Diagramma forza-spostamento (provino T1)

Durante la prova si registra un comportamento elastico lineare fino all'attingimento della forza di 14,46 kN per cui si registra la prima fessura a trazione dell'eps per un valore di abbassamento pari a 5,45 mm. Successivamente per un valore del di carico di 16,24 si registra una rottura a trazione dell'eps sul lato destro della tavola centrale.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.82) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.190).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	400x185x265 mm
MATERIALE	Abete austriaco ed eps
TIPO DI PROVA	Prova a taglio indiretto (su 3 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidezza tagliente, della resistenza a taglio e la tipologia di rottura dell'eps.
DURATA DELLA PROVA	100 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione
14,46	5,45	Prima fessurazione
16,24	6,36	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a trazione dell'eps inferiore

Tab. 5.82 Scheda riepilogativa provino T1



Fig. 5.190 Foto provino T1

Risultati provino T2

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-spostamento relativo al potenziometro a filo in mezzeria (Fig. 5.191). Poiché la macchina di prova registra per step di abbassamento viene presentato un diagramma “a gradino”. I risultati della prova sono stati interpolati con un polinomio di sesto ordine al fine di ottenere una curva che si avvicinasse di più al comportamento reale della prova.

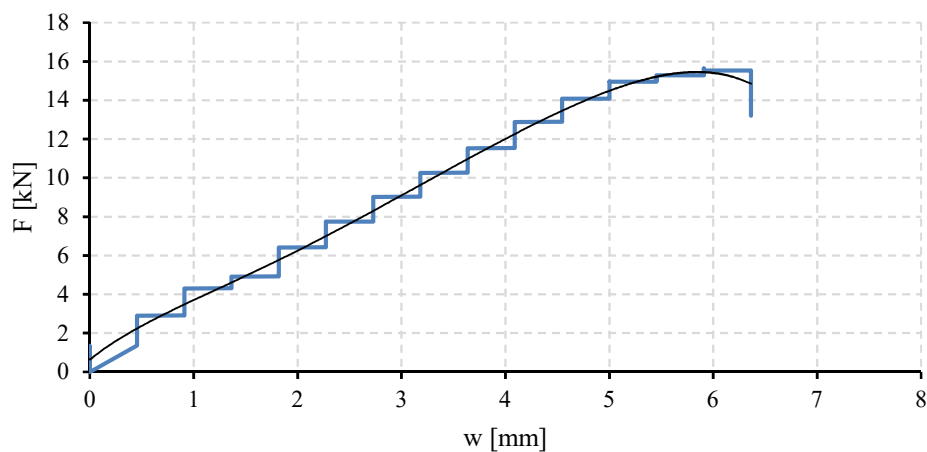


Fig. 5.191 Diagramma forza-spostamento (provino T2)

Durante la prova si registra un comportamento elastico lineare fino all’attingimento della forza di 13,47 kN per cui si registra la prima fessura a trazione dell’eps per un valore di abbassamento pari a 4,54 mm. Successivamente per un valore del di carico di 15,63 si registra una rottura a trazione dell’eps sul lato sinistro della tavola centrale.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.83) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.192).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	400x185x265 mm
MATERIALE	Abete austriaco ed eps
TIPO DI PROVA	Prova a taglio indiretto (su 3 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidezza tagliante, della resistenza a taglio e la tipologia di rottura dell'eps.
DURATA DELLA PROVA	77 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione
13,47	4,54	Prima fessurazione
15,63	5,91	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a trazione dell'eps inferiore

Tab. 5.83 Scheda riepilogativa provino T2

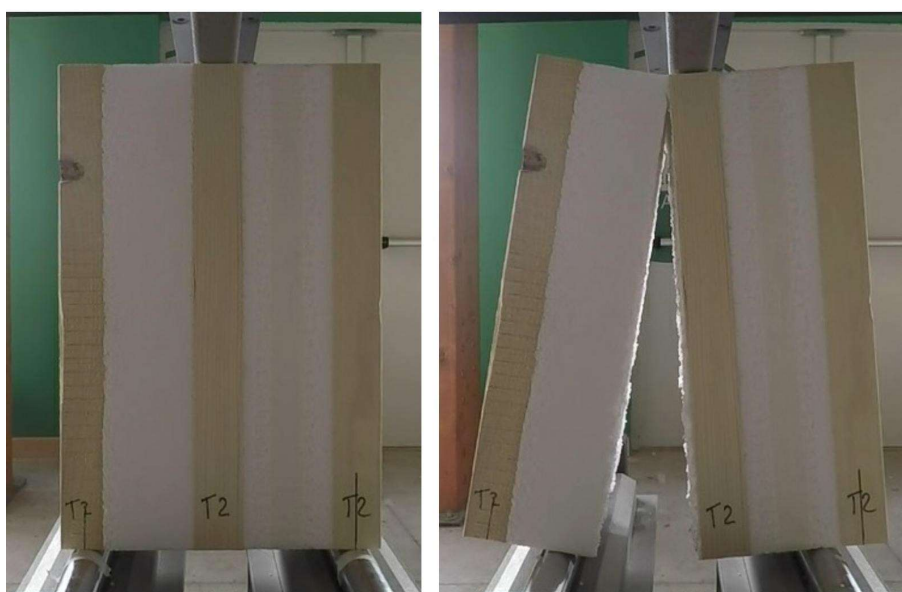


Fig. 5.192 Foto provino T2

Risultati provino T3

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-spostamento relativo al potenziometro a filo in mezzeria (Fig. 5.194). Poiché la macchina di prova registra per step di abbassamento viene presentato un diagramma “a gradino”. I risultati della prova sono stati interpolati con un polinomio di sesto ordine al fine di ottenere una curva che si avvicinasse di più al comportamento reale della prova.

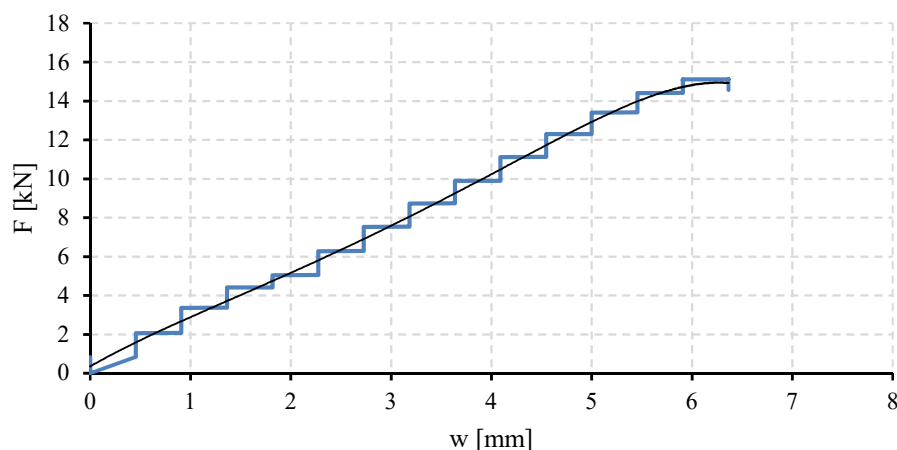


Fig. 5.194 Diagramma forza-spostamento (provino T3)

Durante la prova si registra un comportamento elastico lineare fino all'attingimento della forza di 13,40 kN per cui si registra la prima fessura a trazione dell'eps per un valore di abbassamento pari a 5,00 mm. Successivamente per un valore del di carico di 15,13 si registra una rottura a trazione dell'eps sul lato sinistro della tavola centrale.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.84) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.195).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	400x185x265 mm
MATERIALE	Abete austriaco ed eps
TIPO DI PROVA	Prova a taglio indiretto (su 3 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidezza tagliente, della resistenza a taglio e la tipologia di rottura dell'eps.
DURATA DELLA PROVA	79 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione
13,40	5,00	Prima fessurazione
15,13	6,36	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a trazione dell'eps inferiore

Tab. 5.84 Scheda riepilogativa provino T3

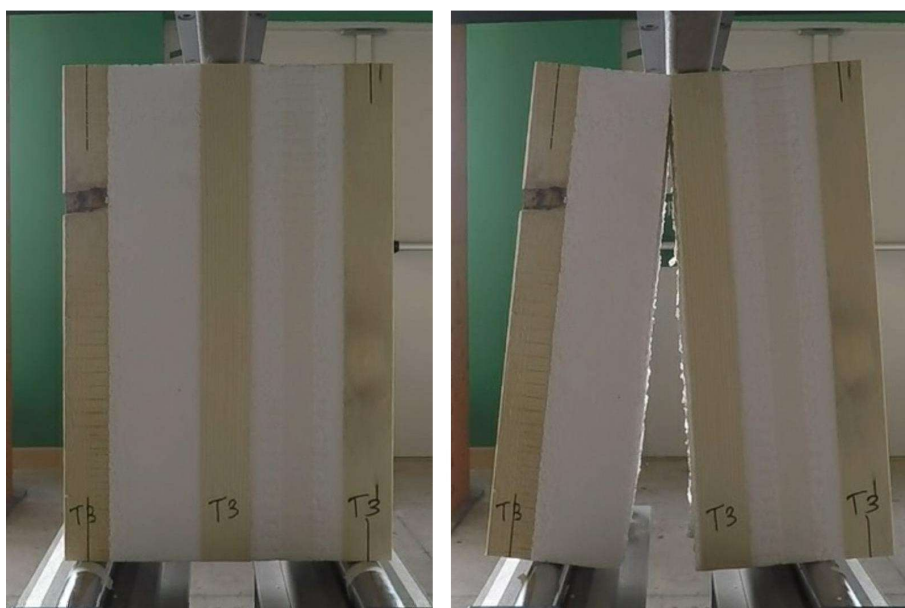


Fig. 5.195 Foto provino T3

Riepilogo risultati del gruppo D1

Si riporta, di seguito, il grafico forza-spostamento riepilogativo dei provini del primo gruppo (Fig. 5.196) e la relativa tabella riepilogativa dei risultati (Tab. 5.85).

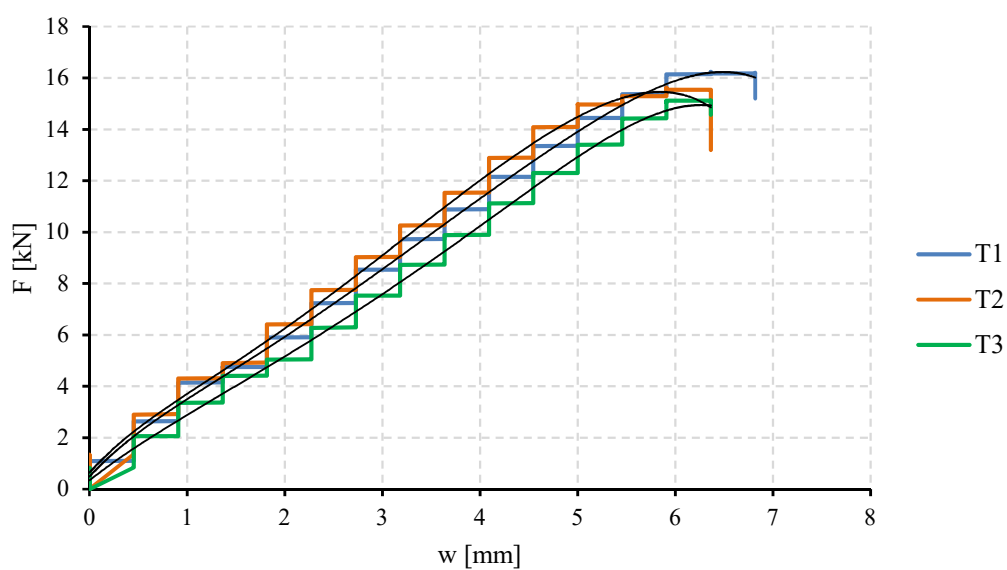


Fig. 5.196 Diagramma riepilogativo forza-spostamento del primo gruppo

Provino	carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione	Tipologia di rottura
T1	14,46	5,45	Prima fessurazione	Trazione ortogonale per flessione dell'eps
	16,24	6,36	Ultima	
T2	13,47	4,54	Prima fessurazione	Trazione ortogonale per flessione dell'eps
	15,63	5,91	Ultima	
T3	13,40	5,00	Prima fessurazione	Trazione ortogonale per flessione dell'eps
	15,13	6,36	Ultima	

Tab. 5.85 Tabella riepilogativa dei risultati del primo gruppo

Risultati delle prove: gruppo D2

Il gruppo D2 è costituito dai seguenti provini:

- provino T4 (dimensioni 40x22,5x18,5 cm);
- provino T5 (dimensioni 40x22,5x18,5 cm);
- provino T6 (dimensioni 40x22,5x18,5 cm).

Per i provini del secondo gruppo, per evitare una rottura prematura dell'eps a trazione ortogonale, come già mostrato nei provini del primo gruppo (T1, T2 e T3), si è inserito un morsetto nella parte inferiore al fine di arrivare a una rottura a taglio dell'eps, ovvero per favorire uno scorrimento fra la tavola centrale e l'eps (Fig. 5.197). Nell'inserimento del morsetto nella parte inferiore non si è applicato nessuna forza di precarico.

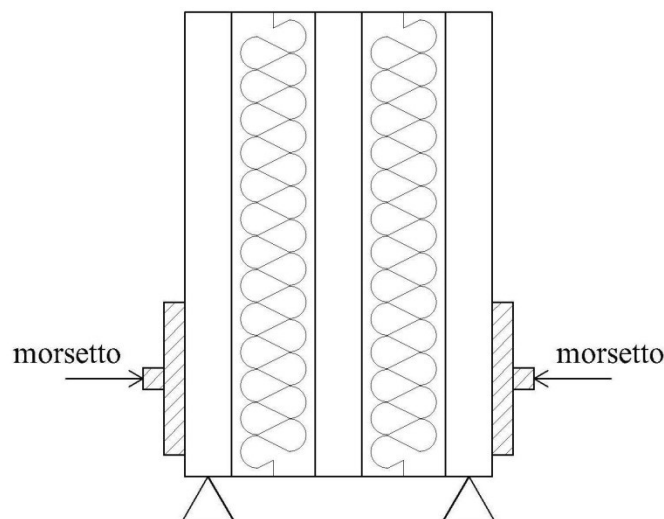


Fig. 5.197 Morsetto per favorire lo scorrimento

Risultati provino T4

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-spostamento relativo al potenziometro a filo in mezzeria (Fig. 5.198). Poiché la macchina di prova registra per step di abbassamento viene presentato un diagramma “a gradino”. I risultati della prova sono stati interpolati con un polinomio di sesto ordine al fine di ottenere una curva che si avvicinasse di più al comportamento reale della prova.

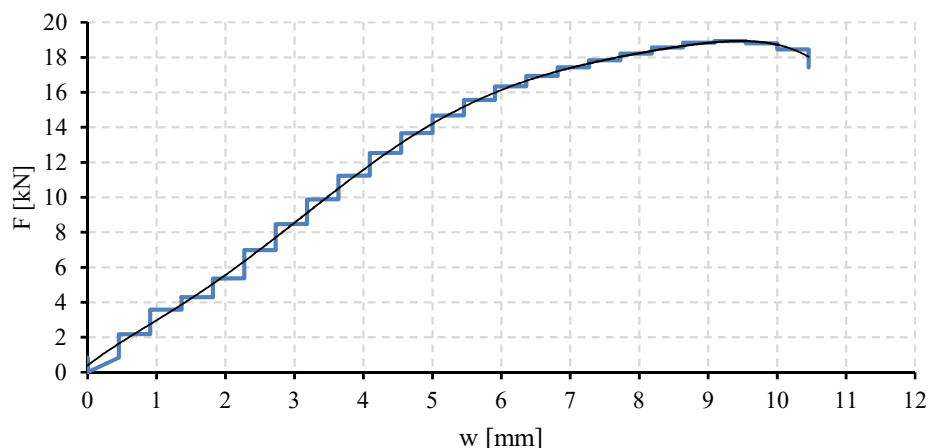


Fig. 5.198 Diagramma forza-spostamento (provino T4)

Durante la prova si registra un comportamento elastico lineare fino all’attingimento della forza di 15,50 kN per cui si registra la rottura a trazione dell’eps per un valore di abbassamento pari a 5,45 mm. Successivamente si registra una rottura a taglio dell’eps per un valore del carico di 18,94 kN ed un abbassamento ultimo di 10,50 mm .

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.86) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.199).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	400x185x265 mm
MATERIALE	Abete austriaco ed eps
TIPO DI PROVA	Prova a taglio indiretto (su 3 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidità tagliante, della resistenza a taglio e la tipologia di rottura dell’eps.
DURATA DELLA PROVA	129 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F_{max} [kN]	abbassamento $w_{F_{max}}$ [mm]	Condizione
15,50	5,45	Prima fessurazione
18,94	10,50	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dell’eps

Tab. 5.86 Scheda riepilogativa provino T4



Fig. 5.199 Foto provino T4

Risultati provino T5

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-spostamento relativo al potenziometro a filo in mezzzeria (Fig. 5.200). Poiché la macchina di prova registra per step di abbassamento viene presentato un diagramma “a gradino”. I risultati della prova sono stati interpolati con un polinomio di sesto ordine al fine di ottenere una curva che si avvicinasse di più al comportamento reale della prova.

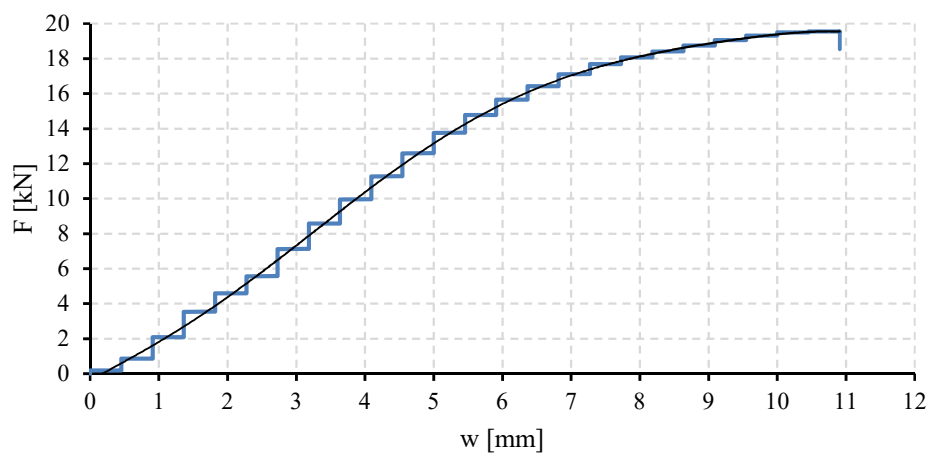


Fig. 5.200 Diagramma forza-spostamento (provino T5)

Durante la prova si registra un comportamento elastico lineare fino all’attingimento della forza di 14,71 kN per cui si registra la rottura a trazione dell’eps per un valore di abbassamento pari a 5,45 mm. Successivamente si registra una rottura a taglio dell’eps per un valore del carico di 19,57 kN ed un abbassamento ultimo di 10,90 mm.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.87) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.201).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	400x185x265 mm
MATERIALE	Abete austriaco ed eps
TIPO DI PROVA	Prova a taglio indiretto (su 3 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidità tagliente, della resistenza a taglio e la tipologia di rottura dell'eps.
DURATA DELLA PROVA	149 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione
14,71	5,45	Prima fessurazione
19,57	10,90	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dell'eps

Tab. 5.87 Scheda riepilogativa provino T5

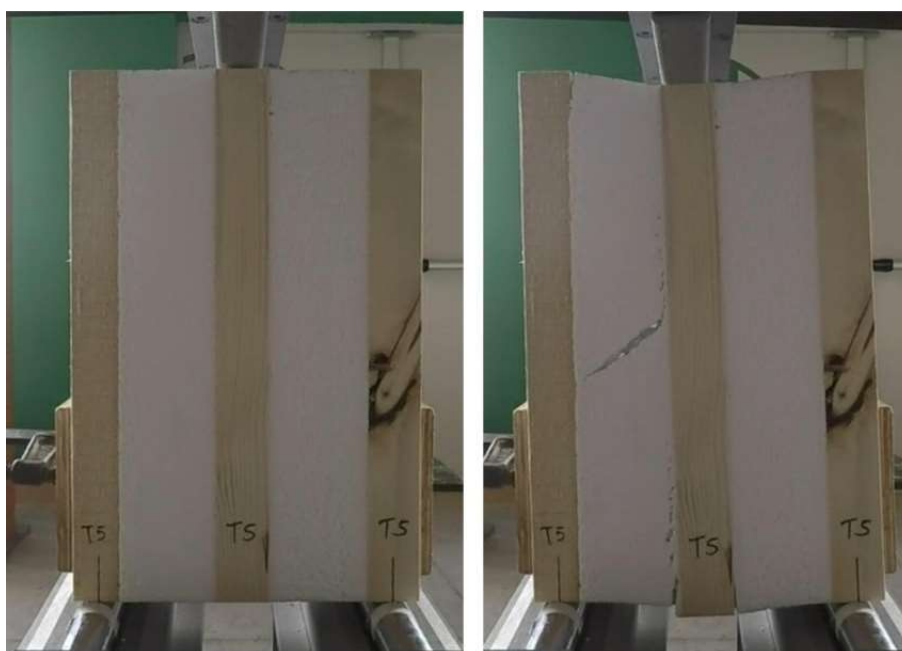


Fig. 5.201 Foto provino T5

Risultati provino T6

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-spostamento relativo al potenziometro a filo in mezzeria (Fig. 5.202). Poiché la macchina di prova registra per step di abbassamento viene presentato un diagramma “a gradino”. I risultati della prova sono stati interpolati con un polinomio di sesto ordine al fine di ottenere una curva che si avvicinasse di più al comportamento reale della prova.

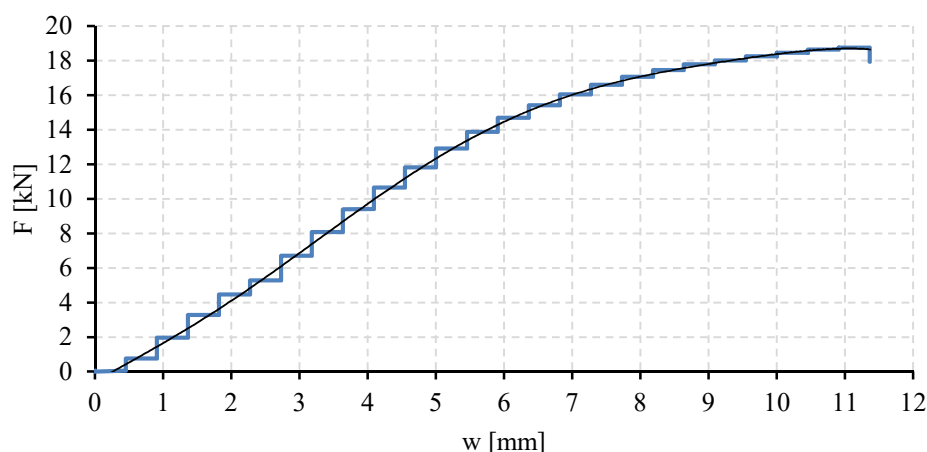


Fig. 5.202 Diagramma forza-spostamento (provino T6)

Durante la prova si registra un comportamento elastico lineare fino all'attingimento della forza di 14,00 kN per cui si registra la rottura a trazione dell'eps per un valore di abbassamento pari a 5,90 mm. Successivamente si registra una rottura a taglio dell'eps per un valore del carico di 18,76 kN ed un abbassamento ultimo di 11,36 mm.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.88) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.203).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	400x185x265 mm
MATERIALE	Abete austriaco ed eps
TIPO DI PROVA	Prova a taglio indiretto (su 3 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidezza tagliente, della resistenza a taglio e la tipologia di rottura dell'eps.
DURATA DELLA PROVA	554 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione
14,00	5,90	Prima fessurazione
18,76	11,36	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dell'eps

Tab. 5.88 Scheda riepilogativa provino T6



Fig. 5.203 Foto provino T6

Riepilogo risultati del gruppo D2

Si riporta, di seguito, il grafico forza-spostamento riepilogativo dei provini del secondo gruppo (Fig. 5.204) e la relativa tabella riepilogativa dei risultati (Tab. 5.89).

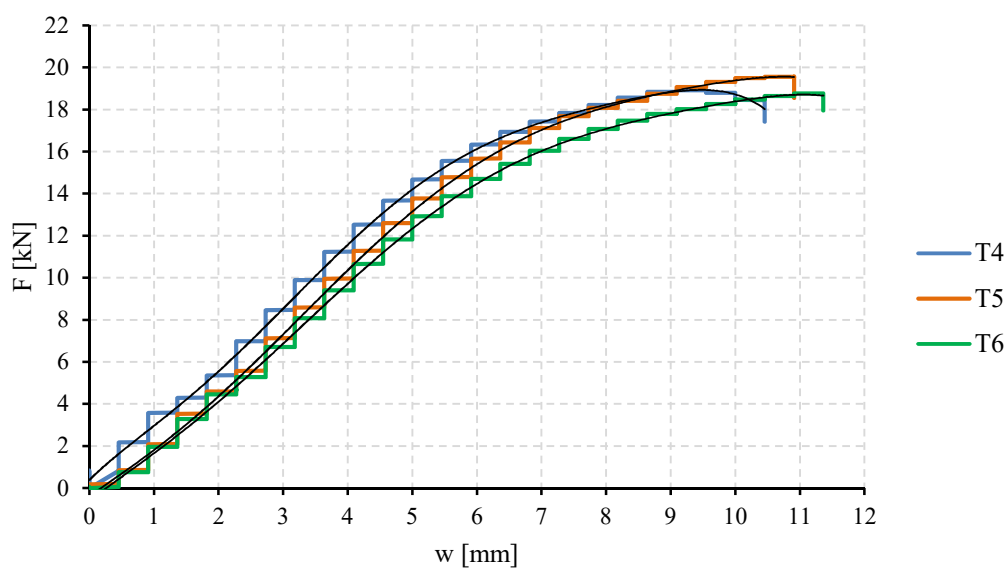


Fig. 5.204 Diagramma riepilogativo forza-spostamento del secondo gruppo

Provino	carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione	Tipologia di rottura
T4	14,50	5,45	Prima fessurazione	Taglio

	18,94	10,50	Ultima	
T5	14,71	5,71	Prima fessurazione	Taglio
	19,57	10,90	Ultima	
T6	14,00	5,90	Prima fessurazione	Taglio
	18,76	11,36	Ultima	

Tab. 5.89 Tabella riepilogativa dei risultati del secondo gruppo

Riepilogo complessivo dei risultati

Si riporta, di seguito, il grafico forza-spostamento riepilogativo dei provini del primo e del secondo gruppo (Fig. 5.205) e la relativa tabella riepilogativa dei risultati (Tab. 5.90).

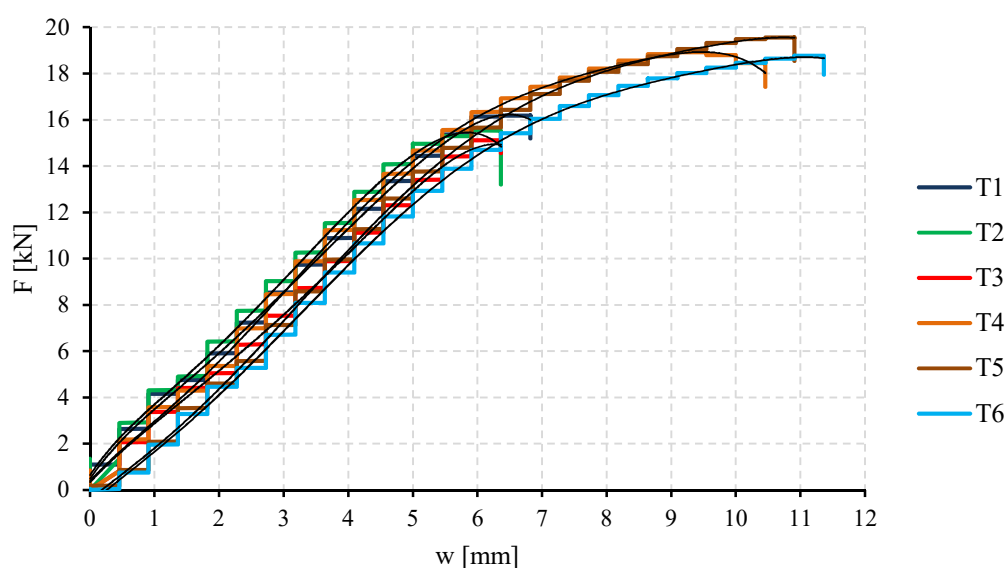


Fig. 5.205 Diagramma complessivo forza-spostamento

Sotto-gruppo	Provino	carico F_{max} [kN]	abbassamento $w_{F_{max}}$ [mm]	Condizione	Tipologia di rottura
D1	T1	14,46	5,45	Prima fessurazione	Trazione ortogonale per flessione dell'eps
		16,24	6,36	Ultima	
	T2	13,47	4,54	Prima fessurazione	Trazione ortogonale per flessione dell'eps
		15,63	5,91	Ultima	
	T3	13,40	5,00	Prima fessurazione	Trazione ortogonale per flessione dell'eps
		15,13	6,36	Ultima	
D2	T4	15,50	5,45	Prima fessurazione	Taglio
		18,94	10,50	Ultima	
	T5	14,71	5,45	Prima fessurazione	Taglio
		19,57	10,90	Ultima	
	T6	14,00	5,90	Prima fessurazione	Taglio
		18,76	11,36	Ultima	

Tab. 5.90 Tabella complessiva dei risultati

5.5 Prova a compressione su un provino di eps (GRUPPO G)

In questa fase è stata effettuata una prova a compressione su un provino di eps (polistirene espanso sinterizzato) di dimensioni 82x104x89 mm (Fig. 5.206) al fine di determinare la resistenza a compressione ed il modulo elastico.

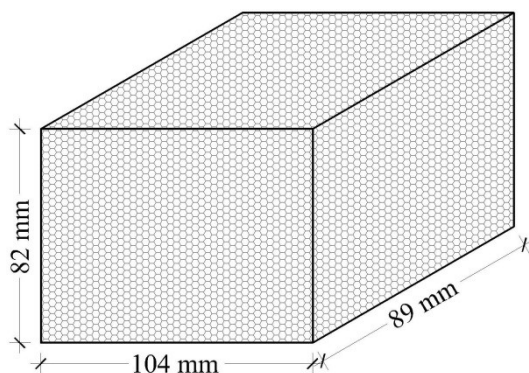


Fig. 5.206 Provino di eps

L'apparecchio di prova utilizzato è la macchina della Metrocom di proprietà della G.R. Sistemi. La prova è stata eseguita in controllo di spostamento con velocità pari a 5 mm/min.

I risultati, con riferimento al diagramma σ - ϵ riportato in Figura 5.207, mostrano un comportamento elastico lineare fino al raggiungimento di una tensione di compressione pari a 1 kg/cm² con una deformazione dell'1% ($E = 100$ kg/cm²). Successivamente il comportamento diventa non lineare fino ad una tensione di 1,4 kg/cm² con una deformazione del 2%. Raggiunto tale valore di tensione si assiste ad un fenomeno di incrudimento dovuto alla "costipazione" dell'eps (Fig. 5.208).

Tensione elastica	Tensione massima	Modulo elastico
$\sigma_{ela} = 1 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_{max} = 1,4 \text{ kg/cm}^2$	$E = 100 \text{ kg/cm}^2$
$\epsilon_{[\sigma_{ela}]} = 1\%$	$\epsilon_{[\sigma_{max}]} = 2\%$	

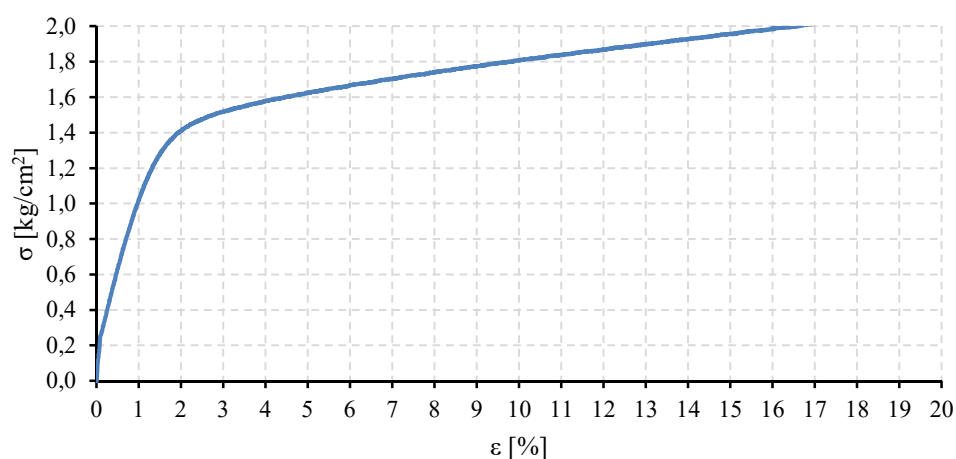


Fig. 5.207 Diagramma σ - ϵ (provino di eps)

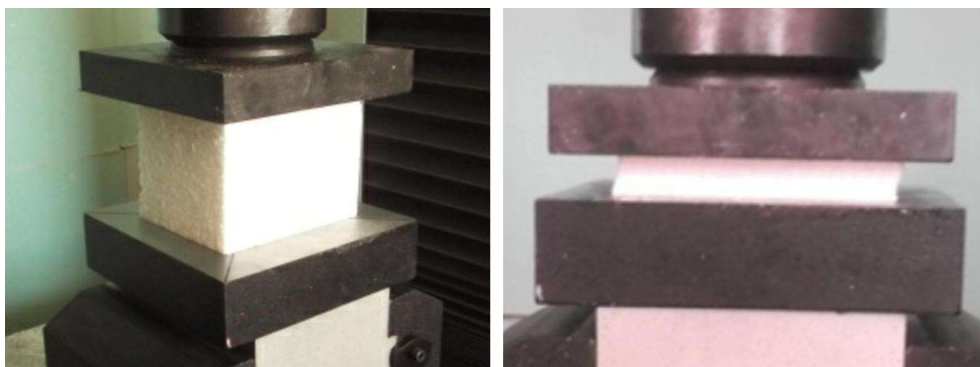


Fig. 5.208 Foto provino eps (inizio e fine prova)

5.6 Prove sull' incollaggio tra legno e acciaio

Al fine di investigare il reale comportamento del collegamento incollato legno – acciaio sono stati testati sono due gruppi, M ed N:

- Il gruppo M (Fig. 5.209 e Fig. 5.210) è costituito da tre provini, *Piastra 1* - *Piastra 2* - *Piastra 3*, in legno di Abete austriaco, classe C24, di sezione 80x100 ed altezza 250 mm, ai quali sono state applicate due piastre in acciaio di dimensioni 200x80 mm e spessore 10 mm incollate con una colla a due componenti poliuretanica LOCTITE CR 421 PURBOND. Il provino *Piastra 1* è stato incollato con una pressione di incollaggio pari a 5kg/cm^2 mentre i restanti sono stati incollati senza nessuna pressione di incollaggio.

Di seguito immagini esemplificative della geometria dei provini e la relativa documentazione fotografica.

- Viste laterali:

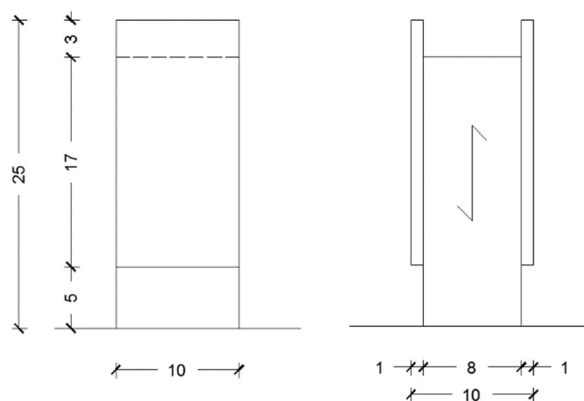


Fig. 5.209 Viste laterali dei provini appartenenti al gruppo M

- Vista assonometrica:

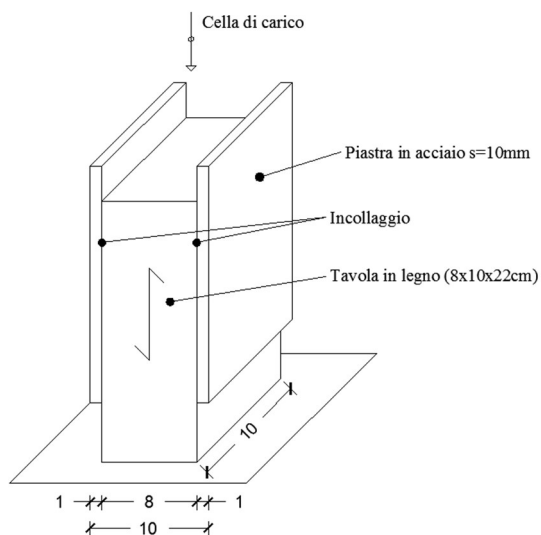


Fig. 5.210 Vista assonometrica dei provini appartenenti al gruppo M

- Provini:



Fig. 5.211 Provini appartenenti al gruppo M

- Il gruppo N (Fig. 5.212 e Fig. 5.213) è costituito da due provini, *Piastra 4* – *Piastra 5*, in legno di Abete austriaco, classe C24, di sezione 95x105mm ed altezza 300mm, ai quali sono state applicate due piastre in acciaio di dimensioni 200x100 mm e spessore 10 mm incollate con la colla LOCTITE HY 4090. In entrambi i provini l'incollaggio delle piastre in acciaio è avvenuto senza alcuna pressione di incollaggio.

Di seguito immagini esemplificative della geometria dei provini e la relativa documentazione fotografica.

- Viste laterali:

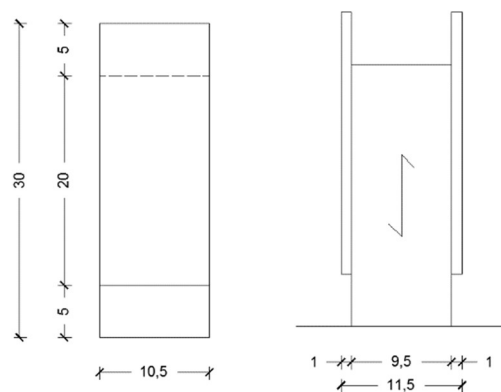


Fig. 5.212 Viste laterali dei provini appartenenti al gruppo N

- Vista assonometrica:

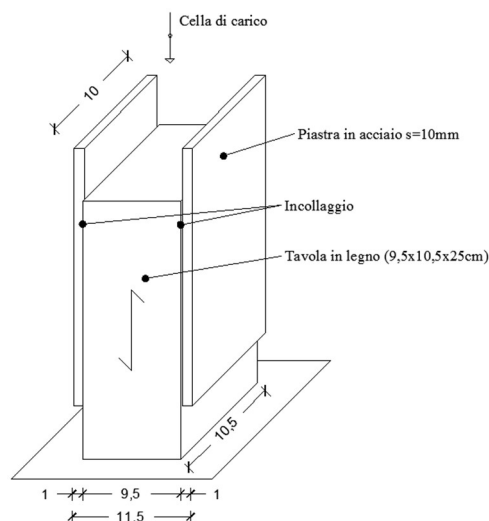


Fig. 5.213 Vista assonometrica dei provini appartenenti al gruppo M

- Provini:



Fig. 5.214 Provini appartenenti al gruppo N

Set-up di prova

Le prove a taglio sono state effettuate in modo che le piastre di acciaio sporgenti dal provino in legno fossero in contatto con la piastra di carico, mentre il legno è stato posto in modo che la direzione del carico fosse parallela alla fibratura. In questo modo si è riuscito ad investigare il comportamento della colla quando sollecitata a taglio, in questo caso all'interfaccia legno – acciaio.

Fase delicata della prova è il posizionamento del provino sotto la macchina di prova: è necessario che la superficie inferiore del provino sia in perfetta aderenza con la base della macchina e che le due superfici delle piastre in acciaio siano allineate con la piastra di carico al fine di evitare eventuali eccentricità.

Le prove sono state condotte in *controllo di spostamento* (con velocità di prova pari a 5mm/min), ossia viene imposta una legge di spostamento nel tempo e una cella di carico registra il valore della forza corrispondente, la cui configurazione è riportata nelle figure (Fig. 5.210 e Fig. 5.213).

Poiché la prova avviene a deformazione controllata, è stato imposto alla macchina la velocità di 5 mm al minuto, mentre i valori della forza vengono registrati direttamente dalla macchina di prova.

I dati di output della strumentazione di prova sono:

- durata della prova [sec];
- forza dell'attuatore [kN];

- abbassamento [mm].

Di questi dati è stata utilizzata la forza e lo scorrimento per ottenere i diagrammi forza-scorrimento e tensione-deformazione. La tensione τ è stata determinata facendo il rapporto tra la forza agente e la superficie di contatto legno – acciaio su cui essa agisce ed è espressa in kg/cm², lo scorrimento è quello registrato dalla macchina ed è espresso in mm.

Suddivisione e dimensioni dei provini

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa contenente le caratteristiche geometriche dei provini testati a taglio e la velocità di prova (Tab. 5.91).

Gruppo	Provino	Lunghezza [cm]	Larghezza [cm]	Spessore [cm]	Velocità di prova [mm/min]
M	Piastra 1	25	8	10	5
	Piastra 2	25	8	10	5
	Piastra 3	25	8	10	5
N	Piastra 4	30	9,5	10,5	5
	Piastra 5	30	9,5	10,5	5

Tab. 5.91 Caratteristiche geometriche dei provini testati

Risultati delle prove: Gruppo M

Il primo gruppo è costituito dai seguenti provini:

- provino *Piastra 1* (dimensioni 25x8x10 cm);
- provino *Piastra 2* (dimensioni 25x8x10 cm);
- provino *Piastra 3* (dimensioni 25x8x10 cm).

Risultati provino *Piastra 1*

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-scorrimento e tensione - scorrimento in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.215 e Fig. 5.216).

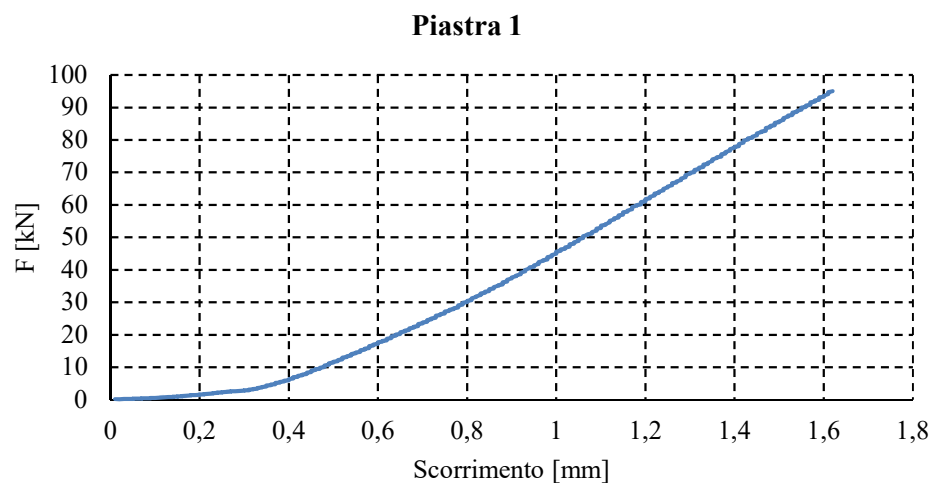


Fig. 5.215 Diagramma forza scorrimento del provino *Piastra 1*

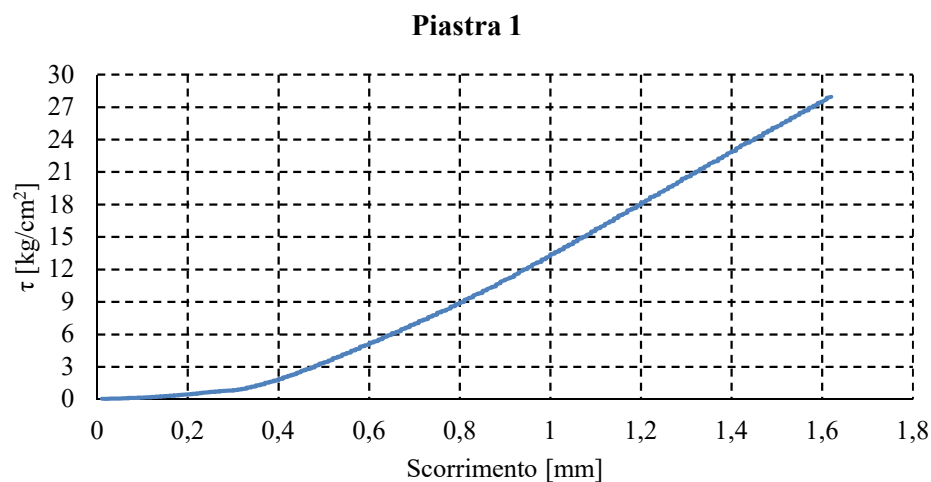


Fig. 5.216 Diagramma tensione scorrimento del provino *Piastra 1*

Durante la prova si osserva una prima fase in cui si registrano scorrimenti elevati corrispondenti a valori di forze molto bassi. Ciò è causato dal fatto che la macchina all'avviamento deve registrarsi sul valore impostato. Segue un comportamento elastico lineare fino all'attingimento della forza di 95 kN a cui corrisponde una τ pari a 27,9 kg/cm², per cui si registra uno scorrimento pari a 1,62 mm. A questa situazione corrisponde anche la crisi della prova dovuta al distacco della piastra di acciaio dal provino di legno, una rottura di tipo fragile.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.92) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.217).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	250x80x100 mm
MATERIALE	Abete austriaco ed acciaio
TIPO DI PROVA	Prova a taglio
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza a taglio della colla e della tipologia di rottura.
DURATA DELLA PROVA	19 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione
95	1,62	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura fragile a taglio della colla.

Tab. 5.92 Scheda riepilogativa provino Piastra 1



Fig. 5.217 Provino *Piastra 1* ad inizio e fine prova

Risultati provino Piastra 2

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-scorrimento e tensione - scorrimento in base ai dati registrati dalla macchina (Fig.5.218 e Fig. 5.219).

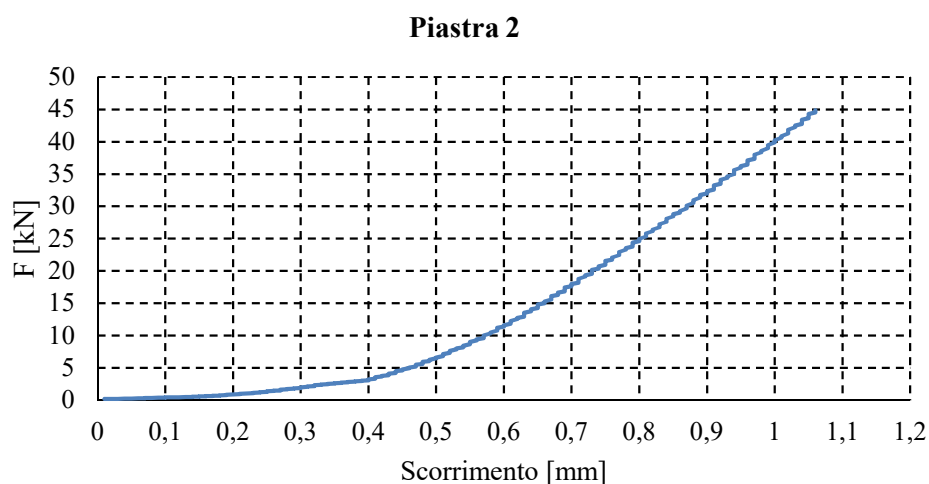


Fig. 5.218 Diagramma forza scorrimento del provino *Piastra 2*

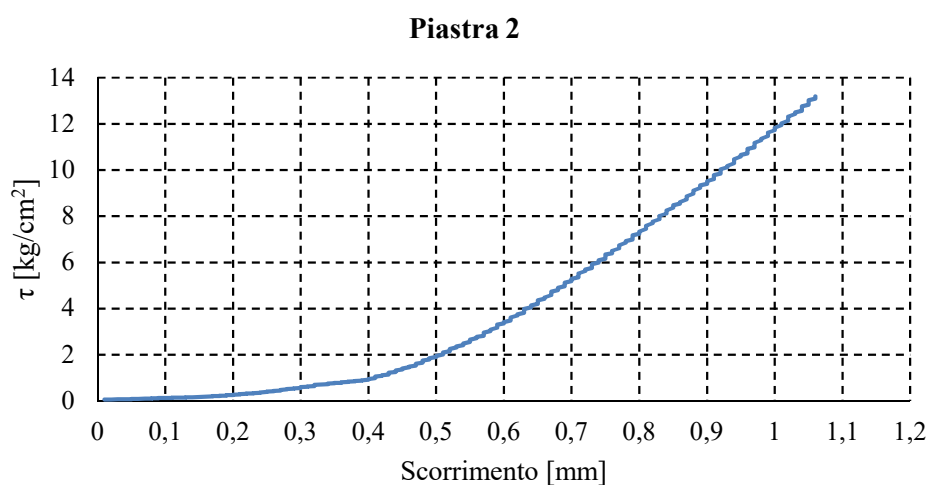


Fig. 5.219 Diagramma tensione scorrimento del provino *Piastra 2*

Durante la prova si osserva una prima fase in cui si registrano scorrimenti elevati corrispondenti a valori di forze molto bassi. Ciò è causato dal fatto che la macchina all'avviamento deve registrarsi sul valore impostato. Segue un comportamento elastico lineare fino all'attingimento della forza di 44,87 kN a cui corrisponde una τ pari a 13,2 kg/cm², per cui si registra uno scorrimento pari a 1,06 mm. A questa situazione corrisponde anche la crisi della prova dovuta al distacco della piastra di acciaio dal provino di legno, una rottura di tipo fragile

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.93) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.220).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	250x80x100 mm
MATERIALE	Abete austriaco ed acciaio
TIPO DI PROVA	Prova a taglio
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza a taglio della colla e della tipologia di rottura.
DURATA DELLA PROVA	13 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione
44,87	1,06	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura fragile a taglio della colla.

Tab. 5.93 Scheda riepilogativa Piastra 2



Fig. 5.220 Provino *Piastra 2* ad inizio e fine prova

Risultati provino Piastra 3

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-scorrimento e tensione - scorrimento in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.221 e Fig. 5.222).

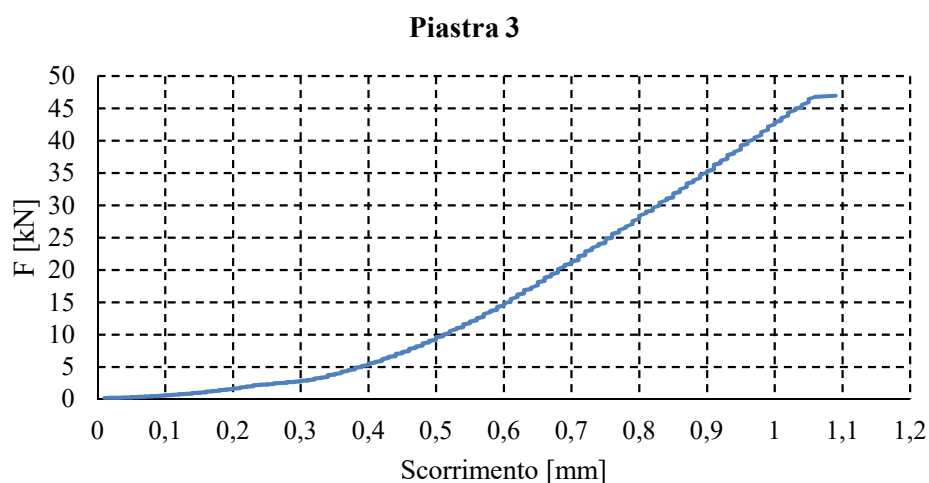


Fig. 5.221 Diagramma forza scorrimento del provino *Piastra 3*

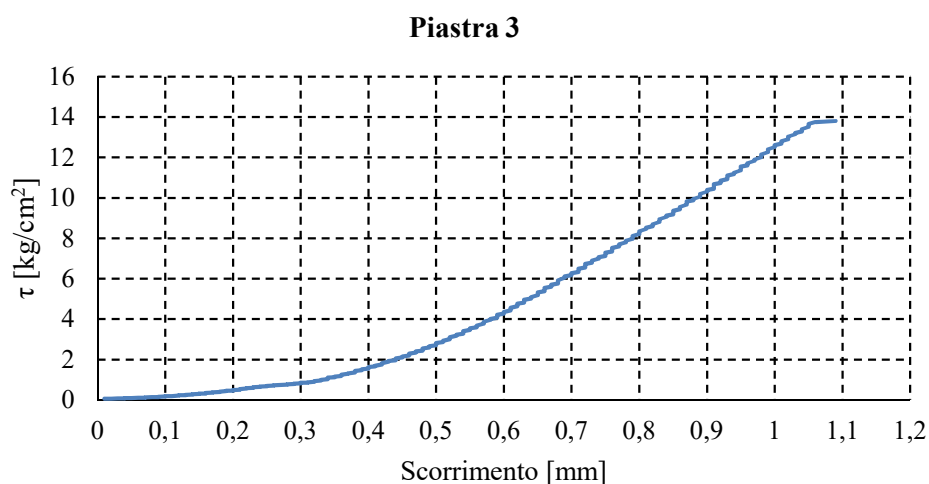


Fig. 5.222 Diagramma tensione scorrimento del provino *Piastra 3*

Durante la prova si osserva una prima fase in cui si registrano scorrimenti elevati corrispondenti a valori di forze molto bassi. Ciò è causato dal fatto che la macchina all'avviamento deve registrarsi sul valore impostato. Segue un comportamento elastico lineare fino all'attingimento della forza di 46,95 kN a cui corrisponde una τ pari a 13,8 kg/cm², per cui si registra uno scorrimento pari a 1,09 mm. A questa situazione corrisponde anche la crisi della prova dovuta al distacco della piastra di acciaio dal provino di legno, una rottura di tipo fragile.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.94) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.223).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	250x80x100 mm
MATERIALE	Abete austriaco ed acciaio
TIPO DI PROVA	Prova a taglio
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza a taglio della colla e della tipologia di rottura.
DURATA DELLA PROVA	13 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione
46,95	1,09	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura fragile a taglio della colla.

Tab. 5.94 Scheda riepilogativa Piastra 3



Fig. 5.223 Provino *Piastra 3* ad inizio e fine prova

Alcune brevi considerazioni sul primo gruppo di provini

I provini hanno manifestato un comportamento elastico lineare fino al raggiungimento della massima resistenza a taglio della colla, con conseguente rottura di tipo fragile, che si è dimostrata non essere sovra-resistente rispetto al legno.

Nello specifico si è compreso come la pressione di incollaggio durante le fasi di preparazione influenza molto la resistenza a taglio del sistema legno – colla - piastra, infatti il provino *Piastra 1* ha manifestato una resistenza a taglio di 28 kg/cm² pari al doppio rispetto a quelli a cui non è stata esercitata nessuna pressione di incollaggio.

Di seguito nelle Fig.5.224 e Fig. 5.225 vengono riportati i grafici riassuntivi delle prove svolte e la Tab. 5.95 con la media dei risultati ottenuti.

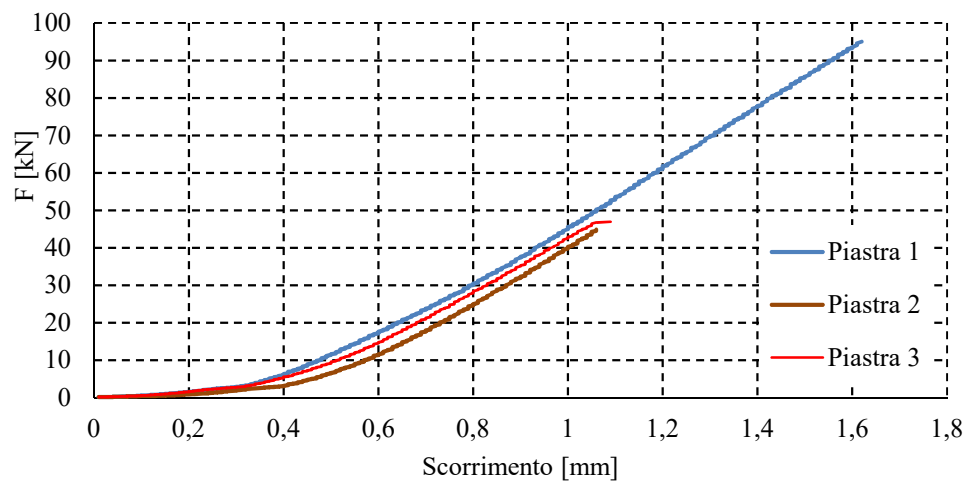


Fig. 5.224 Diagramma forza scorrimento dei provini *Piastra 1 – Piastra 2 – Piastra 3*

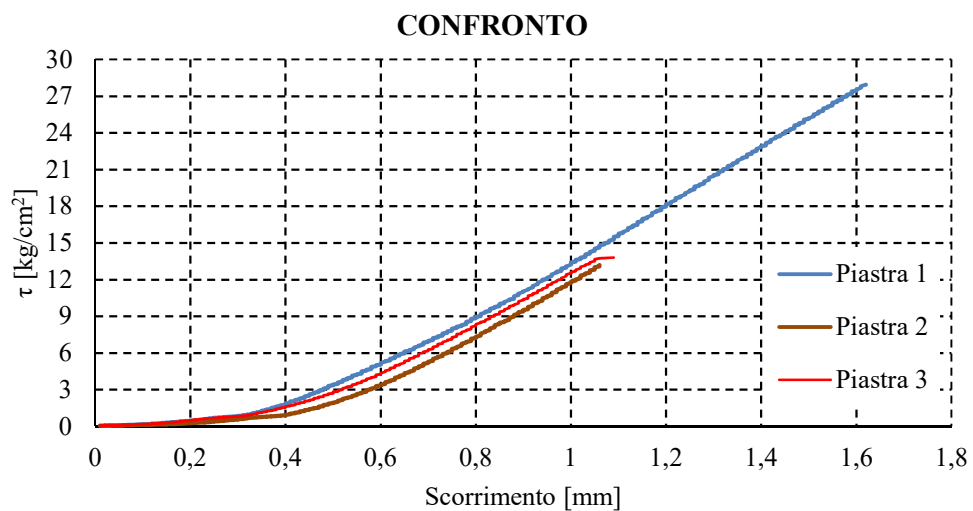


Fig. 5.225 Diagramma tensione scorrimento dei provini *Piastra 1 - Piastra 2 - Piastra 3*

Provino	P_{\max} [kN]	Tipologia di rottura	τ_{\max} [kg/cm ²]
Piastra 1	95,0	Fragile interfaccia colla-piastra	27,9
Piastra 2	44,87	Fragile interfaccia colla-piastra	13,2
Piastra 3	46,95	Fragile interfaccia colla-piastra	13,8
Media	62,27	-	54,9

Tab.5.95 Riepilogo risultati delle prove

Risultati delle prove: Gruppo N

Il primo gruppo è costituito dai seguenti provini:

- provino *Piastra 4* (dimensioni 30x9,5x10,5 cm);
- provino *Piastra 5* (dimensioni 30x9,5x10,5 cm);

Risultati provino *Piastra 4*

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-scorrimento e tensione - scorrimento in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.226 e Fig. 5.227).

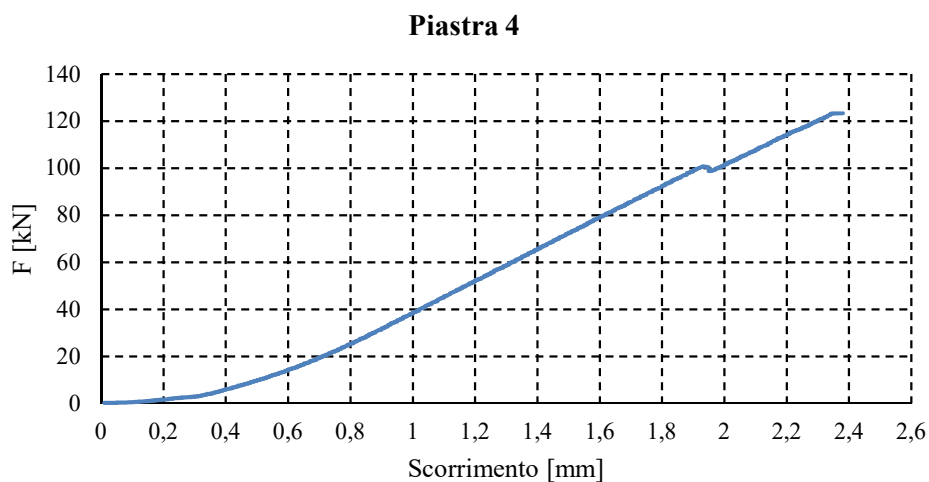


Fig. 5.226 Diagramma forza scorrimento del provino *Piastra 4*

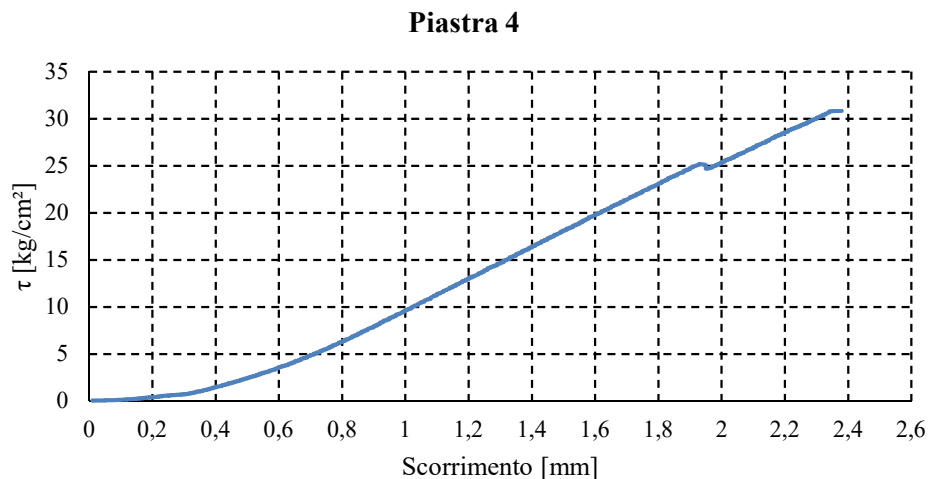


Fig. 5.227 Diagramma tensione scorrimento del provino *Piastra 4*

Durante la prova si osserva una prima fase in cui si registrano scorrimenti elevati corrispondenti a valori di forze molto bassi. Ciò è causato dal fatto che la macchina all'avviamento deve registrarsi sul valore impostato. Segue un comportamento elastico lineare fino all'attingimento della forza di 123,35 kN a cui corrisponde una τ pari a 30,83 kg/cm², per cui si registra uno scorrimento pari a 2,38 mm. A

questa situazione corrisponde anche la crisi della prova dovuta alla rottura a taglio lato legno, una rottura di tipo fragile con la colla sovra-resistente.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.96) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.228).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO		
DATA DI PROVA	20/10/2016	
DIMENSIONI	300x95x105 mm	
MATERIALE	Abete austriaco ed acciaio	
TIPO DI PROVA	Prova a taglio	
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza a taglio della colla e della tipologia di rottura.	
DURATA DELLA PROVA	28 secondi	
COMPORTAMENTO DEL PROVINO		
carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione
123,35	2,38	Ultima
TIPOLOGIA DI ROTTURA		
Rottura fragile a taglio lato legno. Gerarchia colla - legno		

Tab. 5.96 Scheda riepilogativa provino Piastra 4



Fig. 5.228 Provino *Piastra 4* ad inizio e fine prova

Risultati provino Piastra 5

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-scorrimento e tensione - scorrimento in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.229 e Fig. 5.230).

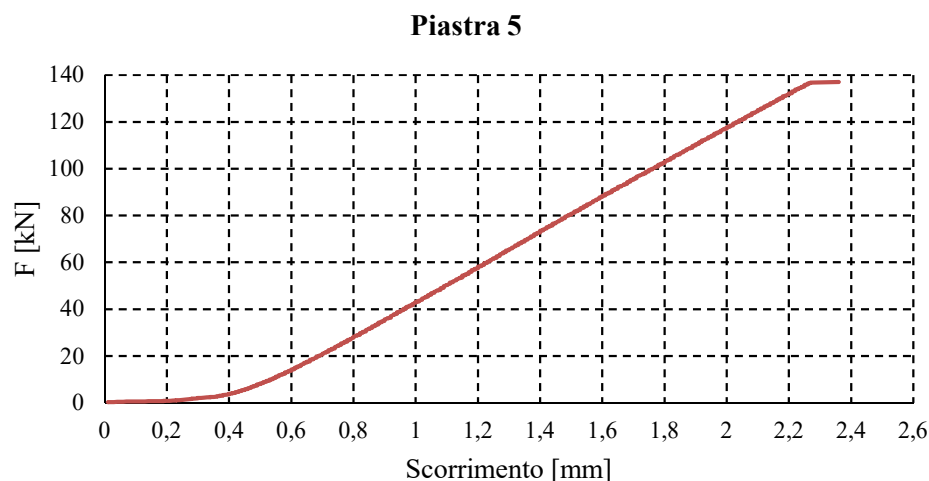


Fig. 5.229 Diagramma forza scorrimento del provino *Piastra 5*

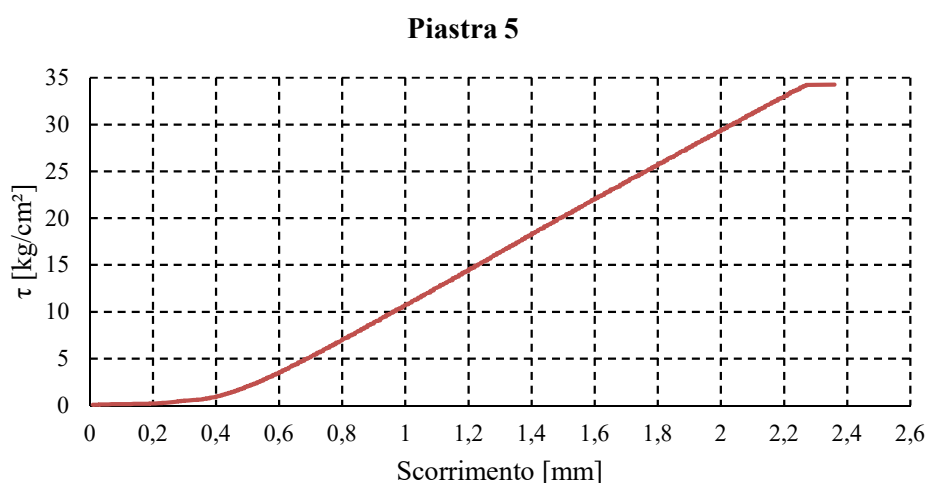


Fig. 5.230 Diagramma tensione scorrimento del provino *Piastra 5*

Durante la prova si osserva una prima fase in cui si registrano scorrimenti elevati corrispondenti a valori di forze molto bassi. Ciò è causato dal fatto che la macchina all'avviamento deve registrarsi sul valore impostato. Segue un comportamento elastico lineare fino all'attingimento della forza di 137,03 kN a cui corrisponde una τ pari a 34,25 kg/cm², per cui si registra uno scorrimento pari a 2,36 mm. A questa situazione corrisponde anche la crisi della prova dovuta al distacco della piastra di acciaio dal provino di legno, una rottura di tipo fragile.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.97) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.231).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	20/10/2016
DIMENSIONI	300x95x105 mm
MATERIALE	Abete austriaco ed acciaio
TIPO DI PROVA	Prova a taglio
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza a taglio della colla e della tipologia di rottura.
DURATA DELLA PROVA	27 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione
137,03	2,36	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura fragile a taglio della colla.

Tab. 5.97 Scheda riepilogativa provino Piastra 5

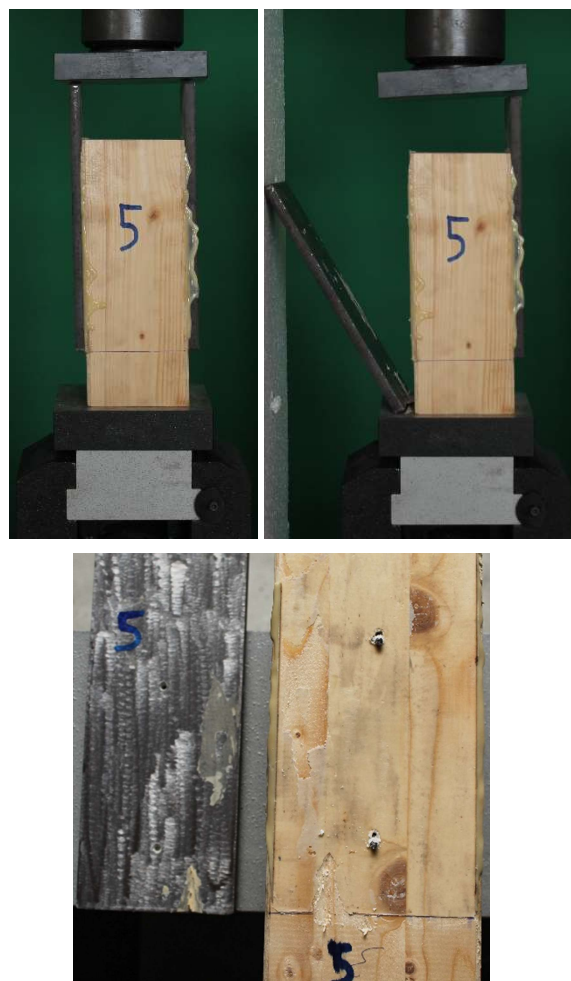


Fig. 5.231 Provino *Piastra 5* ad inizio e fine prova

Alcune brevi considerazioni sul secondo gruppo di provini

I provini hanno manifestato un comportamento elastico lineare fino al punto di crisi, con diverse modalità di rottura, ma tutte di tipo fragile. Il provino *Piastra 4* ha mostrato la modalità di rottura voluta, ovvero il collasso è avvenuto al raggiungimento della massima resistenza a taglio lato legno, con la colla che si è mostrata essere sovra-resistente. Il provino *Piastra 5* nonostante realizzato secondo le stesse modalità ha manifestato resistenza ultima maggiore del provino *Piastra 4* e una rottura fragile a taglio della colla, non risultando quindi sovra-resistente. Ciò potrebbe essere dovuto dalla presenza delle viti all'interno del provino in legno che non si è riuscito ad estrarre a causa del loro annegamento all'interno della colla, utilizzate al solo fine di fissare nel modo migliore le piastre di acciaio.

Di seguito nelle Fig. 5.232 e Fig. 5.233 grafici riassuntivi delle prove svolte e la Tab. 5.98 con la media dei risultati ottenuti

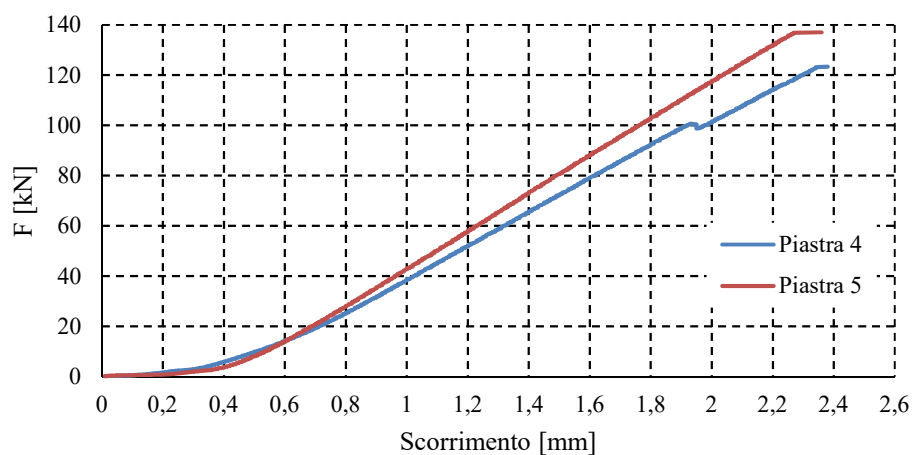


Fig. 5.232 Diagramma forza scorrimento dei provini *Piastra 4 – Piastra 5*

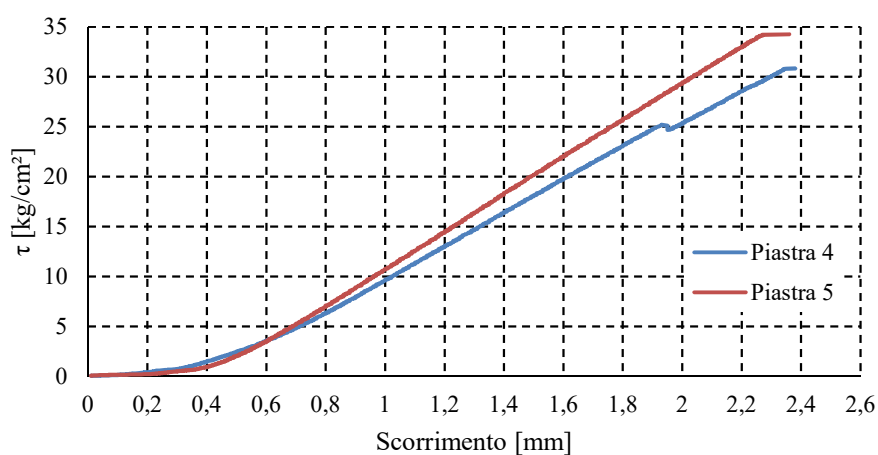


Fig. 5.233 Diagramma tensione scorrimento del provino *Piastra 4 – Piastra 5*

Provino	P_{\max} [kN]	Tipologia di rottura	τ_{\max} [kg/cm ²]
Piastra 4	123,35	Fragile lato legno	30,83
Piastra 5	137,03	Fragile interfaccia colla-piastra	34,25
Media	130,19	-	32,54

Tab. 5.98 Riepilogo risultati delle prove

Alcune brevi considerazioni complessive sui provini

I provini di entrambi i gruppi hanno manifestato un comportamento elastico lineare fino al punto di crisi, con diverse modalità di rottura, ma tutte di tipo fragile. I provini *Piastra 1*, *Piastra 2*, *Piastra 3*, del gruppo M, hanno mostrato modalità di rottura fragile a taglio della colla, che quindi si è mostrata non essere sovra-resistente rispetto al legno. I provini *Piastra 4* e *Piastra 5*, del gruppo N, hanno manifestato rispettivamente una rottura a taglio lato legno e una rottura fragile a taglio all'interfaccia legno - acciaio.

È possibile, inoltre, effettuare due considerazioni:

- la presenza di una pressione di incollaggio (provino *Piastra 1*) migliora notevolmente il comportamento del collegamento (a parità di provino testato);
- il raggiungimento di diverse tensioni massime è dovuto alle diverse colle utilizzate. Dall'analisi del grafico della Fig. 5.234 sotto riportato, si osserva quindi che la colla LOCTITE HY 4090 offre prestazioni migliori rispetto alla LOCTITE CR 421 PURBOND.

Relativamente l'ultimo punto, il confronto prestazionale tra le colle viene svolto in termini tensionali e non in termini di carico agente dal momento le aree utilizzate per l'incollaggio sono differenti a causa dei diversi provini realizzati. Di seguito vengono riportati i grafici riassuntivi delle prove svolte e una tabella con la media complessiva dei risultati ottenuti.

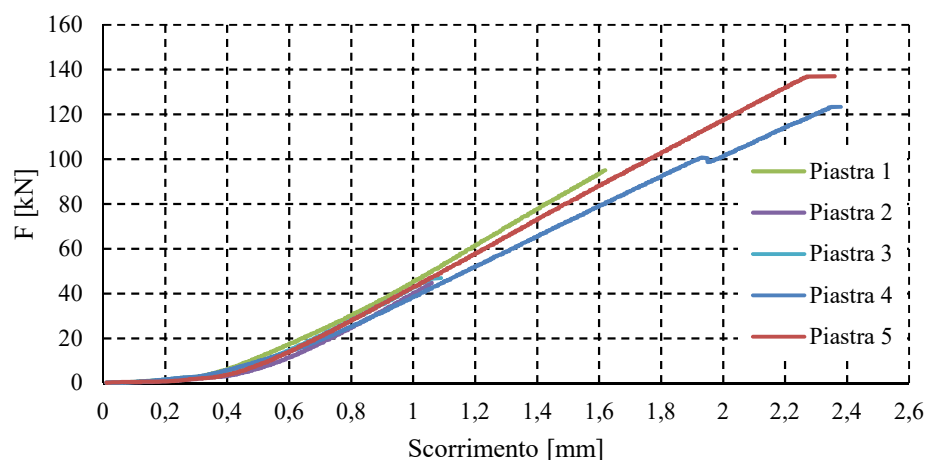


Fig. 5.234 Diagramma forza scorrimento dei provini *Piastra 1* - *Piastra 2* - *Piastra 3* - *Piastra 4* - *Piastra 5*

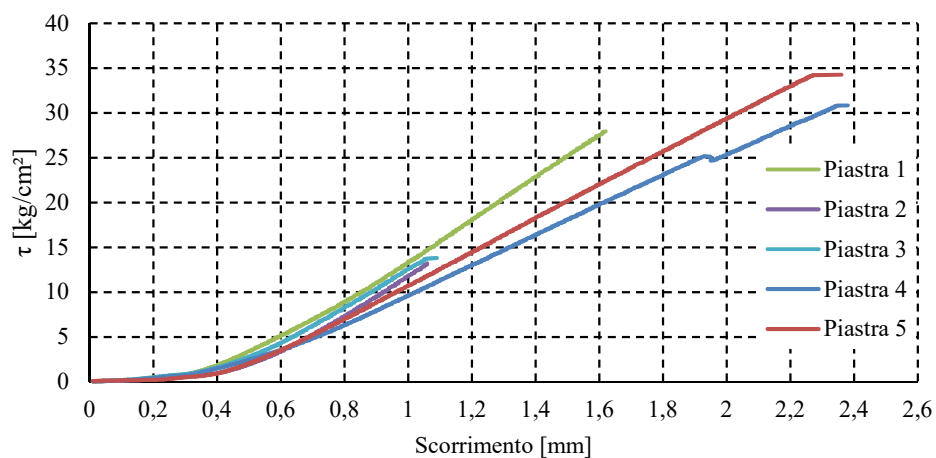


Fig. 5.235 Diagramma tensione scorrimento dei provini *Piastra 1 - Piastra 2 - Piastra 3 - Piastra 4 - Piastra 5*

Provino	P_{max} [kN]	Tipologia di rottura	τ_{max} [kg/cm ²]
Piastra 1	95,0	Fragile interfaccia colla-piastra	27,9
Piastra 2	44,87	Fragile interfaccia colla-piastra	13,2
Piastra 3	46,95	Fragile interfaccia colla-piastra	13,8
Piastra 4	123,35	Fragile lato legno	30,83
Piastra 5	137,03	Fragile interfaccia colla-piastra	34,25
Media	89,44	-	24,0

Tab. 5.99 Riepilogo complessivo dei risultati delle prove

5.7 Prove a compressione su cubetti di calcestruzzo (GRUPPO F)

Prima di effettuare le prove a flessione sui solai con soletta collaborante sono state effettuate delle prove a compressione su due cubetti in calcestruzzo di dimensioni 15x15x15 cm. I cubetti sono stati prelevati durante le fasi di getto della soletta e collocati per la maturazione in ambiente ad umidità controllata.

Le prove sono state eseguite presso il laboratorio di prove del DI.ST. La macchina di prove utilizzata è la pressa elettroidraulica Matest già descritta nel Capitolo 3 (“Descrizione delle macchine di prova”). La prova è stata eseguita in controllo di forza con una velocità pari a 0,5 MPa/sec. I provini sono stati prima puliti e poi pesati su una bilancia meccanica; le prove sono state eseguite a diversi periodi di stagionatura (Fig. 5.236).



Fig. 5.236 Pesatura del provino, macchina di prova e posizionamento provino

I risultati ottenuti delle prove sono riportati in Tabella 5.110. Come si evince dalle Fig. 5.237 e Fig. 5.238 i provini hanno manifestato una rottura a “doppio cono” tipica di questa tipologia di prova. Il provino CLS1 ha registrato un carico massimo di 740,5 kN, a cui corrisponde una tensione di rottura a compressione pari a 322,7 kg/cm². Il provino CLS2 ha registrato un carico massimo di 857,2 kN, a cui corrisponde una tensione di rottura a compressione pari a 373,8 kg/cm². Di seguito viene riportata una tabella riepilogativa delle prove.

Provino -	Stagionatura giorni	Peso [kg]	Volume [m ³]	γ [kg/m ³]	P_{max} [kN]	σ_{max} [MPa]	σ_{max} [kg/cm ²]
CLS1	19	5,65	0,003375	1674	740,5	32,9	322,7
CLS2	33	5,80	0,003375	1718	857,2	38,1	373,8
MEDIA	26	5,73	0,003375	1696	798,8	35,5	348,2

Tab. 5.100 Riepilogo prove a compressione su cubetti di calcestruzzo



Fig. 5.237 Foto provino CLS1 (inizio e fine prova)



Fig. 5.238 Foto provino CLS2 (inizio e fine prova)

5.8 Prove a trazione su barre di acciaio (GRUPPO T)

Al fine di investigare il reale comportamento delle barre di acciaio presenti nella parete da testare per forze orizzontali, sono state effettuate delle prove a trazione. Tutti i provini appartengono al gruppo T e suddivisi nel seguente modo:

- il sottogruppo 1 è costituito dal *Provino 1*: una barra filettata M24 di lunghezza 30 cm;



Fig. 5.239 *Provino 1* - barra filettata M24

- il sottogruppo 2 è costituito da *Provino 2* e *Provino 3*: due barre filettate M10 di lunghezza 20 cm;



Fig. 5.240 *Provino 2* e *Provino 3* - barre filettate M10

- il sottogruppo 3 è costituito da *Provino 4* e *Provino 5*: due barre lisce M10 di lunghezza 20 cm;



Fig. 5.241 *Provino 4* e *Provino 5* - barre lisce M10

- il sottogruppo 4 è costituito da *Provino 6* e *Provino 7*: due bulloni M10 8.8 di lunghezza pari a 6 cm.



Fig. 5.242 *Provino 6* e *Provino 7* - Bulloni M10 8.8

Si precisa che ai provini del sottogruppo 4 è stata rimossa la testa (Fig. 5.243) per permettere alle morse della macchina utilizzata di far presa sugli stessi e che la stessa prova è stata svolta senza l'utilizzo del deformometro a causa dell'esigua lunghezza dei provini testati. Ne consegue che i risultati ottenuti consentono di ottenere informazioni solo riguardo le forze massime attinte.



Fig. 5.243 Bulloni M10 8.8 con la testa tagliata

Set-up di prova

Le prove a trazione sono state effettuate prestando particolare attenzione al posizionamento del provino sotto la macchina di prova: è necessario che il provino sia perfettamente centrato rispetto alla direzione di applicazione del carico e che le superfici inferiore e superiore siano ben ammorsate alla macchina al fine di evitarne lo sfilamento.

Le prove sono state condotte in *controllo di spostamento* (con velocità di prova pari a 3mm/min), ossia viene imposta una legge di spostamento nel tempo e una cella di carico registra il valore della forza corrispondente, la cui configurazione generica è riportata nella Fig. 5.244

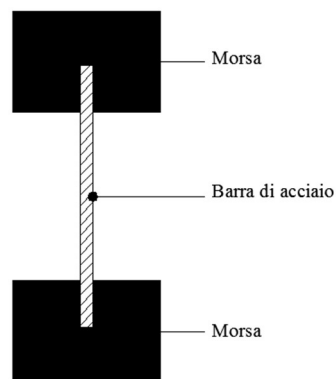


Fig. 5.244 Schema di prova a trazione

Poiché la prova avviene a deformazione controllata, è stato imposto alla macchina la velocità di 3 mm al minuto, mentre i valori della forza vengono registrati direttamente dalla macchina di prova.

I dati di output della strumentazione di prova sono:

- durata della prova [sec];
- forza dell'attuatore [kN];
- deformazione [-].

Di questi dati è stata utilizzata la forza e la deformazione per ottenere i diagrammi forza-allungamento e tensione-deformazione. La tensione σ è stata determinata facendo il rapporto tra la forza agente e l'area netta dei provini su cui essa agisce ed è espressa in kg/cm^2 , la deformazione è quella registrata dal deformometro e l'allungamento è ottenuto moltiplicando la deformazione registrata per la lunghezza netta del provino.

Suddivisione e dimensioni dei provini

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa contenente le caratteristiche geometriche dei provini testati a taglio e la velocità di prova (Tab. 5.101).

	Sottogruppo	Provino	Lunghezza	Diametro	Area	Velocità di prova
			[cm]	[cm]	[cm ²]	[mm/min]
T	1	Provino1	30	24	3,39	3
	2	Provino2	20	10	0,588	3
		Provino3	20	10	0,588	3
	3	Provino4	20	10	0,785	3
		Provino5	20	10	0,785	3
	4	Provino6	6	10	0,785	3
		Provino7	6	10	0,785	3

Tab. 5.101 Caratteristiche geometriche dei provini testati

Risultati delle prove: Sottogruppo 1

Il primo sottogruppo è costituito dai seguenti provini:

- provino *Provino 1*

Risultati provino *Provino 1*

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-allungamento e tensione – deformazione in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.245 e Fig. 5.246).

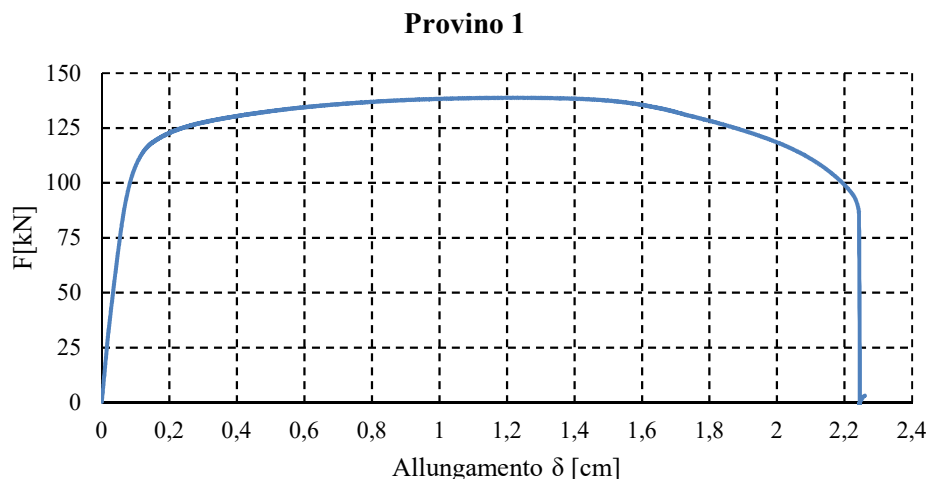


Fig. 5.245 Diagramma forza - allungamento del provino *Provino 1*

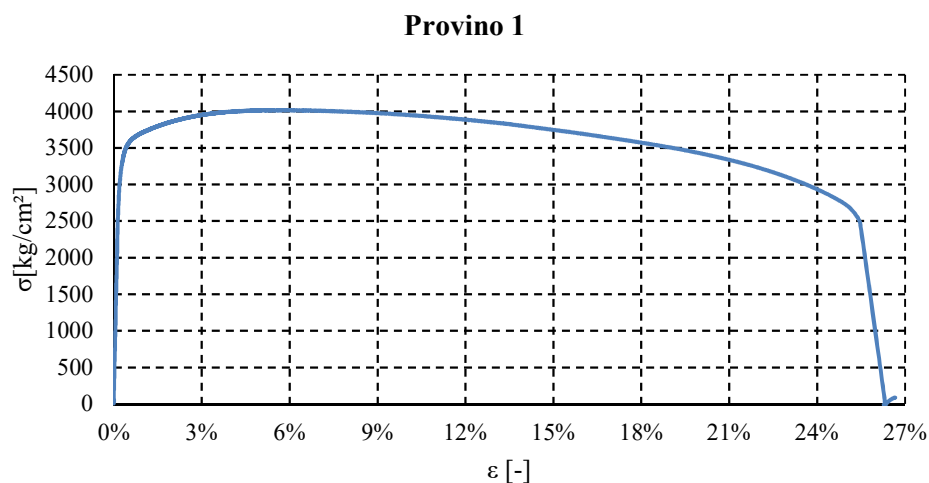


Fig. 5.246 Diagramma tensione - deformazione del provino *Provino 1*

Durante la prova si osserva una prima fase con comportamento elastico lineare, fino a valori di σ pari a circa 3500 kg/cm² e deformazioni dell'ordine dello 0,35%. Successivamente segue un comportamento non lineare fino a rottura in cui è possibile individuare la σ massima pari a circa 4016 kg/cm² e una deformazione ultima del 26%.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.102) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.247).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	21/11/2016
LUNGHEZZA	300 mm
AREA	78,5 mm ²
MATERIALE	Acciaio
TIPO DI PROVA	Prova a trazione
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza a trazione e della deformazione ultima.
DURATA DELLA PROVA	452 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F_{\max} [kN]	allungamento δ [mm]	Condizione
138,79	22,6	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura duttile a trazione.

Tab. 5.102 Scheda riepilogativa provino 1



Fig. 5.247 Provino *Provino 1* ad inizio, durante e fine prova

Risultati delle prove: Sottogruppo 2

Il secondo sottogruppo è costituito dai seguenti provini:

- provino *Provino 2*;
- provino *Provino 3*.

Risultati provino *Provino 2*

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-allungamento e tensione – deformazione in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.248 e Fig. 5.249).

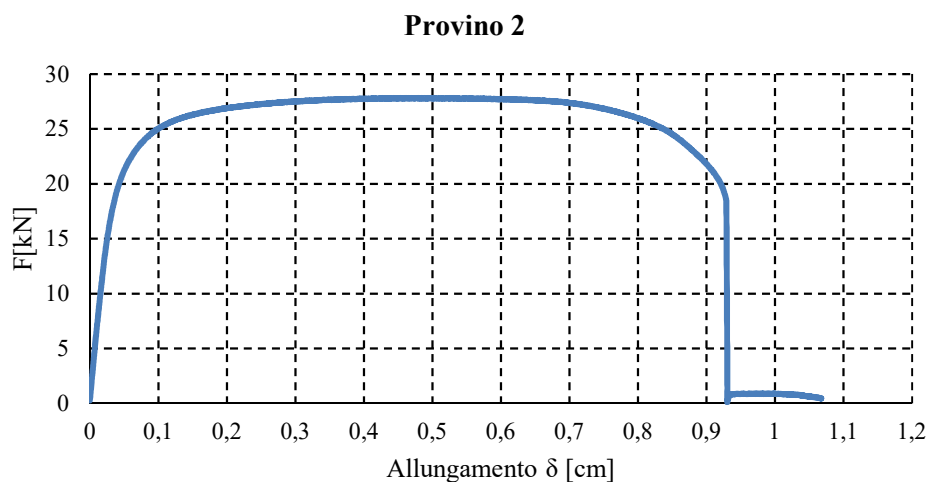


Fig. 5.248 Diagramma forza - allungamento del provino *Provino 2*

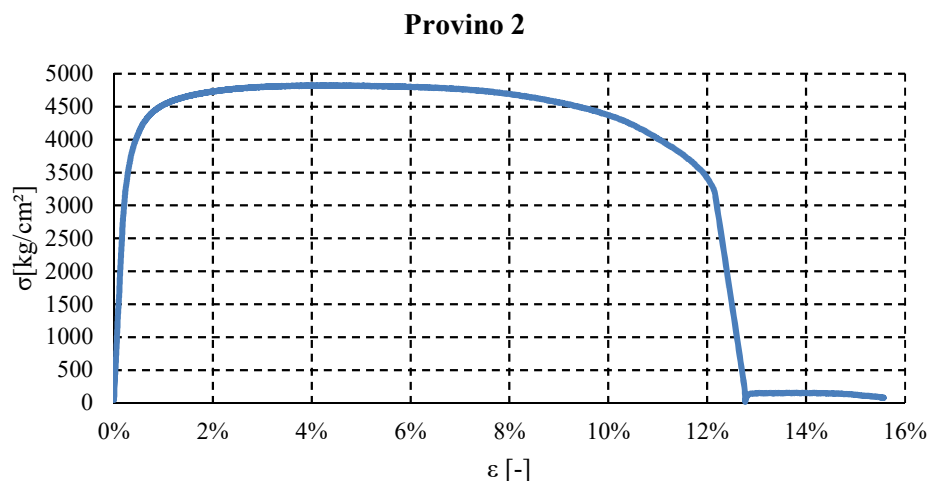


Fig. 5.249 Diagramma tensione - deformazione del provino *Provino 2*

Durante la prova si osserva una prima fase con comportamento elastico lineare, fino a valori di σ pari a circa 4000 kg/cm² e deformazioni dell'ordine dello 0,4%. Successivamente segue un comportamento non lineare fino a rottura in cui è possibile individuare la σ massima pari a circa 4823 kg/cm² e una deformazione ultima del 13%.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.103) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.250).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO		
DATA DI PROVA	21/11/2016	
LUNGHEZZA	200 mm	
AREA	58,8 mm ²	
MATERIALE	Acciaio	
TIPO DI PROVA	Prova a trazione	
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza a trazione e della deformazione ultima.	
DURATA DELLA PROVA	214 secondi	
COMPORTAMENTO DEL PROVINO		
carico F _{max} [kN]	allungamento δ [mm]	Condizione
27,82	10,67	Ultima
TIPOLOGIA DI ROTTURA		
Rottura duttile a trazione.		

Tab. 5.103 Scheda riepilogativa provino 2



Fig. 5.250 Provino *Provino 2* ad inizio, durante e fine prova

Risultati provino Provino 3

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-allungamento e tensione – deformazione in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.251 e Fig. 5.252).

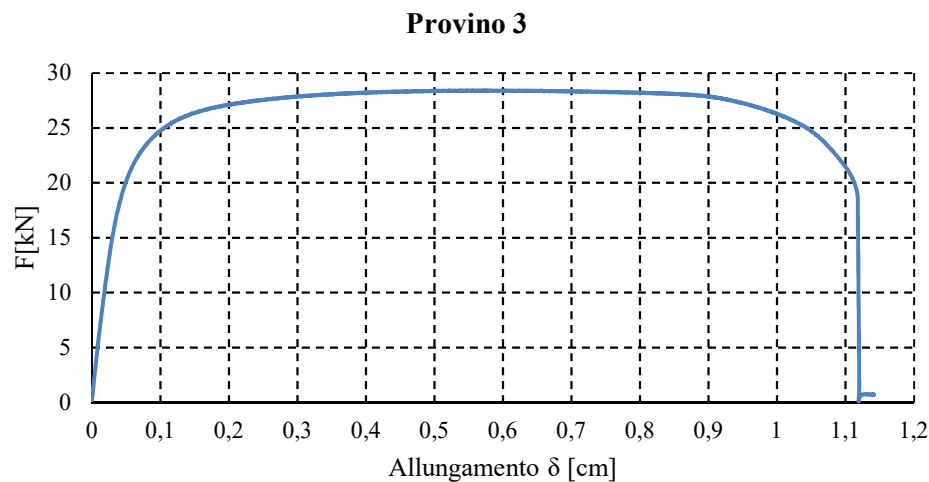


Fig. 5.251 Diagramma forza - allungamento del provino *Provino 3*

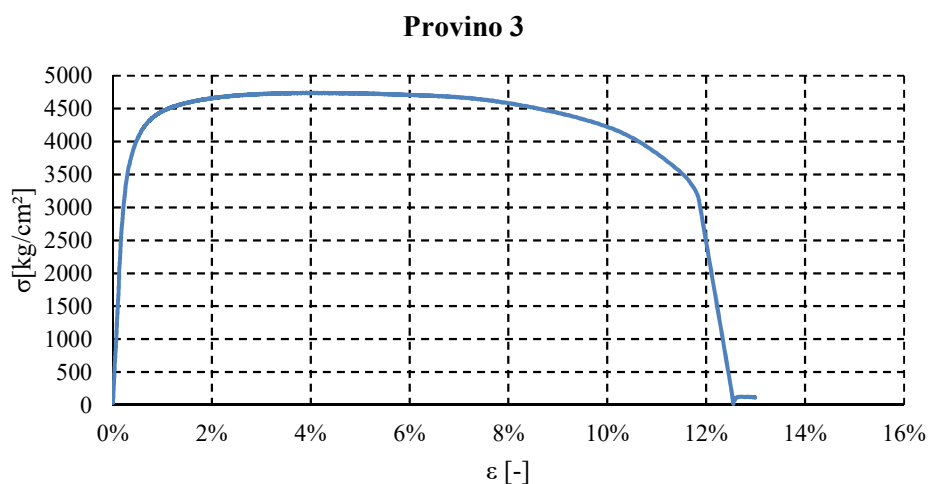


Fig. 5.252 Diagramma tensione - deformazione del provino *Provino 3*

Durante la prova si osserva una prima fase con comportamento elastico lineare, fino a valori di σ pari a circa 4000 kg/cm² e deformazioni dell'ordine dello 0,4%. Successivamente segue un comportamento non lineare fino a rottura in cui è possibile individuare la σ massima pari a circa 4740 kg/cm² e una deformazione ultima del 13%.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.104) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.253).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	21/11/2016
LUNGHEZZA	200 mm
AREA	58,8 mm ²
MATERIALE	Acciaio
TIPO DI PROVA	Prova a trazione
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza a trazione e della deformazione ultima.
DURATA DELLA PROVA	228 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F_{\max} [kN]	allungamento δ [mm]	Condizione
28,41	11,41	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura duttile a trazione.

Tab. 5.104 Scheda riepilogativa provino 3



Fig. 5.253 Provino *Provino 3* ad inizio, durante e fine prova

Alcune brevi considerazioni sul secondo sottogruppo di provini

I provini hanno mostrato avere un comportamento analogo: in entrambe le prove è presente un primo tratto elastico lineare fino a valori di tensioni pari a circa 4000 kg/cm² con deformazioni dell'ordine dello 0,4%. A questo segue un comportamento non lineare fino a fine prova che corrisponde con la crisi del provino dovuto alla rottura della sezione in cui si è avuta la strizione. Dal confronto emerge inoltre che il *Provino 3* ha una maggiore escursione in campo plastico il che comporta maggiori deformazioni e allungamenti finali a cui è possibile attingere.

Di seguito grafici riassuntivi delle prove svolte e una tabella con la media dei risultati ottenuti.

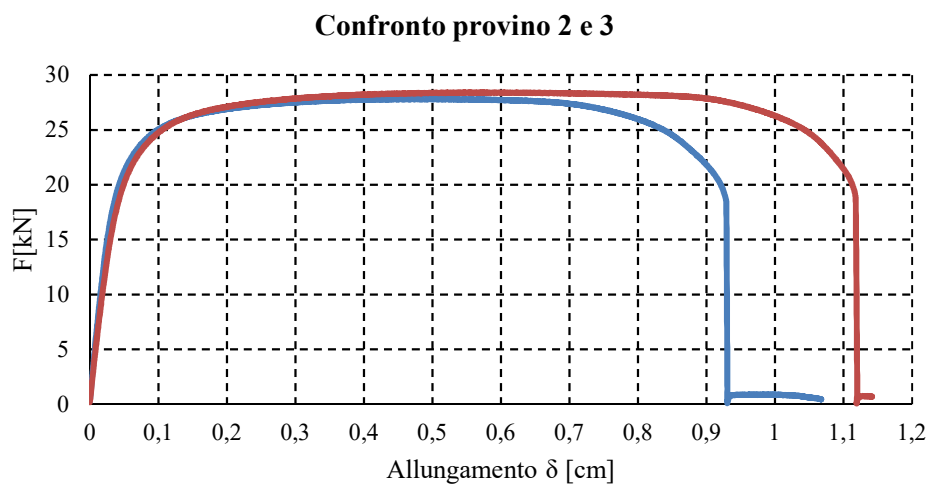


Fig. 5.254 Diagramma forza - allungamento dei provini *Provino 2* e *Provino 3*

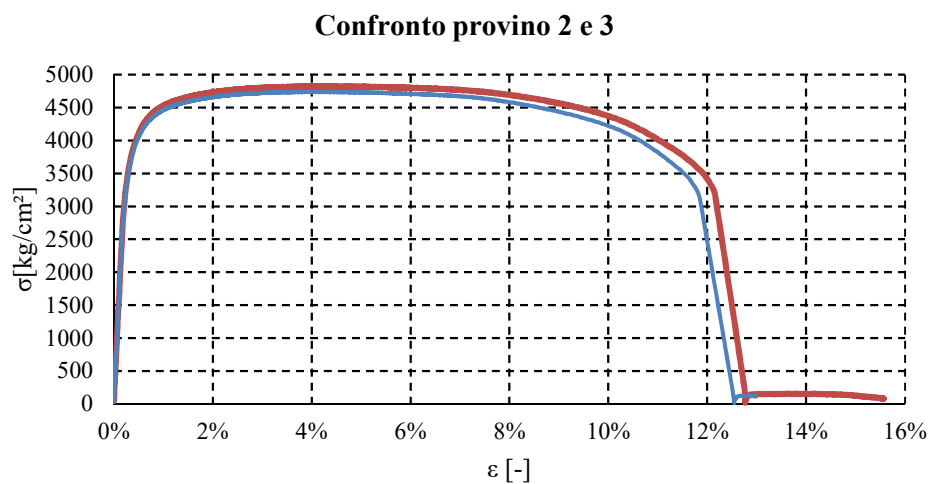


Fig. 5.255 Diagramma tensione - deformazione dei provini *Provino 2* e *Provino 3*

Provino	F_{\max} [kN]	Tipologia di rottura	σ_{\max} [kg/cm ²]
Piastra 2	27,82	Duttile a trazione	4823,04
Piastra 3	28,41	Duttile a trazione	4740,07
Media	28,11	-	4781,55

Tab. 5.105 Riepilogo risultati delle prove

Risultati delle prove: Sottogruppo 3

Il terzo sottogruppo è costituito dai seguenti provini:

- provino *Provino 4*;
- provino *Provino 5*.

Risultati provino *Provino 4*

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-allungamento e tensione – deformazione in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.256 e Fig. 5.257).

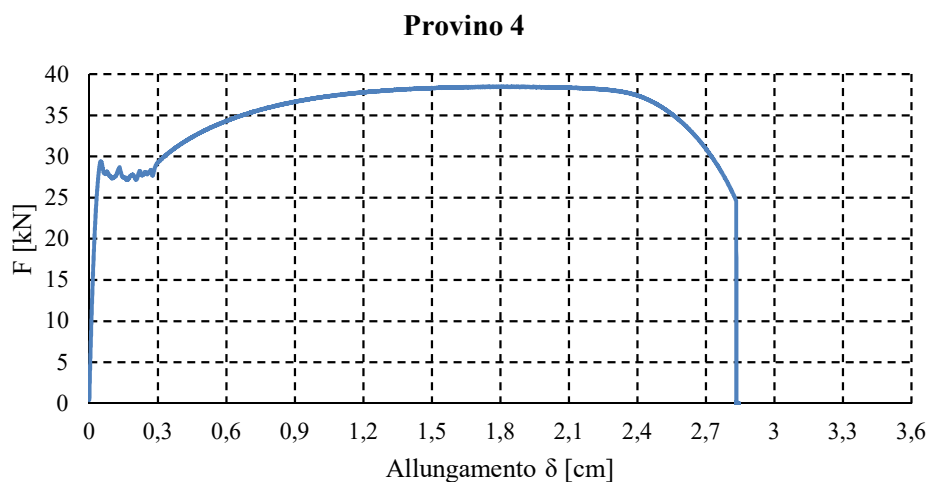


Fig. 5.256 Diagramma forza – allungamento del provino *Provino 4*

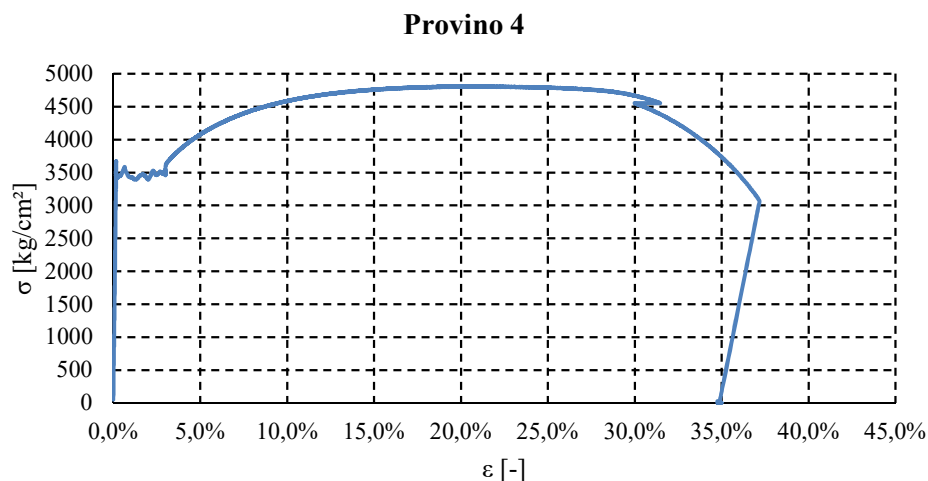


Fig. 5.257 Diagramma tensione – deformazione del provino *Provino 4*

Durante la prova si osserva una prima fase con comportamento elastico lineare, fino a valori di σ pari a circa 3500 kg/cm² e deformazioni dell'ordine dello 0,16%. Successivamente si assiste allo snervamento del provino fino ad una deformazione pari al 3% e all'inizio del ramo plastico con comportamento non lineare fino a rottura, in cui è possibile individuare la σ massima pari a circa 4810 kg/cm² e una deformazione ultima del 36%.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.106) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.258).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	10/11/2016
LUNGHEZZA	200 mm
AREA	78,85 mm ²
MATERIALE	Acciaio
TIPO DI PROVA	Prova a trazione
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza a trazione e della deformazione ultima.
DURATA DELLA PROVA	569 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F_{max} [Kn]	allungamento δ [mm]	Condizione
38,419	28,44	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura duttile a trazione.

Tab. 5.106 Scheda riepilogativa Provino 4



Fig. 5.258 Provino *Provino 4* ad inizio, durante e fine prova

Risultati provino Provino 5

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-allungamento e tensione – deformazione in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.259 e Fig. 5.260).

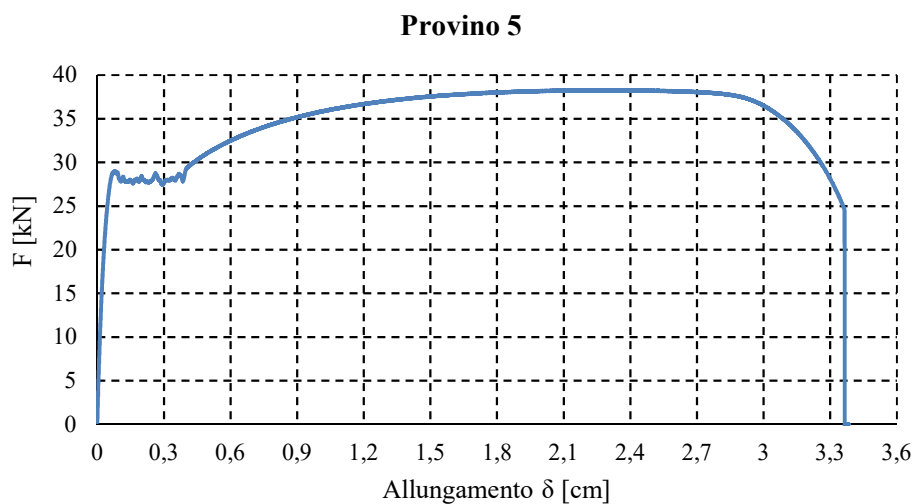


Fig. 5.259 Diagramma forza - allungamento del provino *Provino 5*

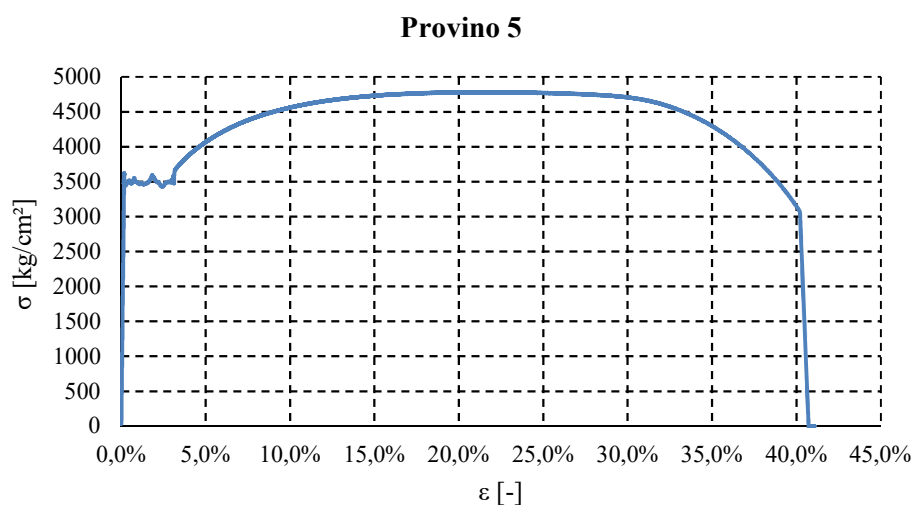


Fig. 5.260 Diagramma tensione - deformazione del provino *Provino 5*

Durante la prova si osserva una prima fase con comportamento elastico lineare, fino a valori di σ pari a circa 3500 kg/cm² e deformazioni dell'ordine dello 0,16%. Successivamente si assiste allo snervamento del provino fino ad una deformazione pari al 3% e all'inizio del ramo plastico con comportamento non lineare fino a rottura, in cui è possibile individuare la σ massima pari a circa 4782 kg/cm² e una deformazione ultima del 36%.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.107) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.261).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	21/11/2016
LUNGHEZZA	200 mm
AREA	78,85 mm ²
MATERIALE	Acciaio
TIPO DI PROVA	Prova a trazione
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza a trazione e della deformazione ultima.
DURATA DELLA PROVA	677 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F_{\max} [kN]	allungamento δ [mm]	Condizione
38,27	33,82	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura duttile a trazione.

Tab. 5.107 Scheda riepilogativa provino 5



Fig. 5.261 Provino *Provino 5* ad inizio, durante e fine prova

Alcune brevi considerazioni sul terzo sottogruppo di provini

I provini hanno mostrato avere un comportamento analogo: in entrambe le prove è presente un primo tratto elastico lineare fino a valori di tensioni pari a circa 3500 kg/cm² con deformazioni dell'ordine dello 0,16%. Raggiunto questo stato tensionale – deformativo, si assiste allo snervamento di entrambi i provini che si conclude ad una deformazione del 3%. A questo segue un comportamento non lineare fino a fine prova che corrisponde con la crisi dei provini dovuto alla rottura delle sezioni in cui si è avuta la strizione. Dal confronto emerge inoltre che il *Provino 5* ha una maggiore escursione in campo plastico il che comporta maggiori deformazioni e allungamenti finali a cui è possibile attingere. Dall'osservazione dei diagrammi risulta chiaro che questi sono dei tipici acciai da carpenteria e confrontando i dati sperimentali con le informazioni riportate nella tabella delle N.T.C./08 al cap.11 di seguito riportata (Tab. 5.108) è possibile affermare che si tratta di acciai S355 classificati secondo la norma UNI EN 10025-4.

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		80 mm ≤ t ≤ 40 mm	
	f _{yk} [N/mm ²]	f _{tk} [N/mm ²]	f _{yk} [N/mm ²]	f _{tk} [N/mm ²]
UNI EN 10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	510	355	470
S450	440	550	420	550
UNI EN 10025-3				
S275 N/NL	275	390	255	370
S355 N/NL	355	490	355	470
S3420 N/NL	420	520	390	520
S460 N/NL	460	540	430	540
UNI EN 10025-4				
S275 M/ML	275	370	255	360
S355 M/ML	355	470	335	450
S3420 M/ML	420	520	390	500
S460 M/ML	460	540	430	530
UNI EN 10025-5				
S235 W	235	360	215	340
S355 W	355	510	335	490

Tab. 5.108 Classificazione acciai da carpenteria secondo N.T.C./08

Di seguito grafici riassuntivi delle prove svolte e una tabella con la media dei risultati ottenuti

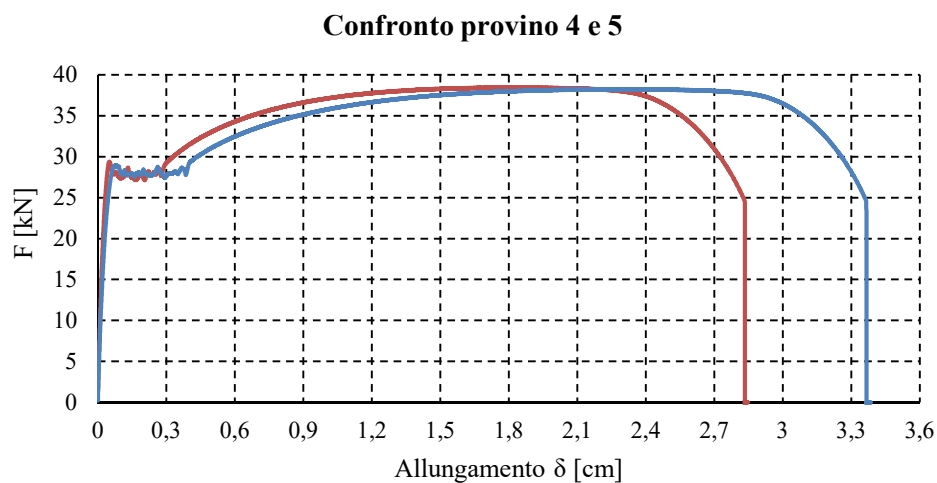


Fig. 5.262 Diagramma forza - allungamento dei provini *Provino 4* e *Provino 5*

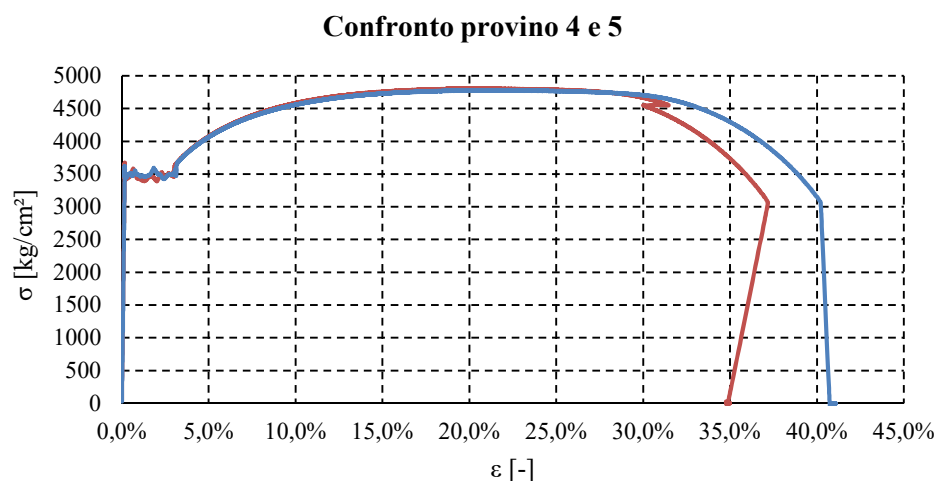


Fig. 5.263 Diagramma tensione - deformazione dei provini *Provino 4* e *Provino 5*

Provino	F_{\max} [kN]	Tipologia di rottura	σ_{\max} [kg/cm ²]
Piastra 4	38,49	Duttile a trazione	4810,1
Piastra 5	38,27	Duttile a trazione	4782,86
Media	38,38	-	4796,48

Tab. 5.109 Riepilogo risultati delle prove

Risultati delle prove: Sottogruppo 4

Il terzo sottogruppo è costituito dai seguenti provini:

- provino *Provino 6*;
- provino *Provino 7*.

Risultati provino *Provino 6*

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-allungamento e tensione – deformazione in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.264 e Fig. 5.265).

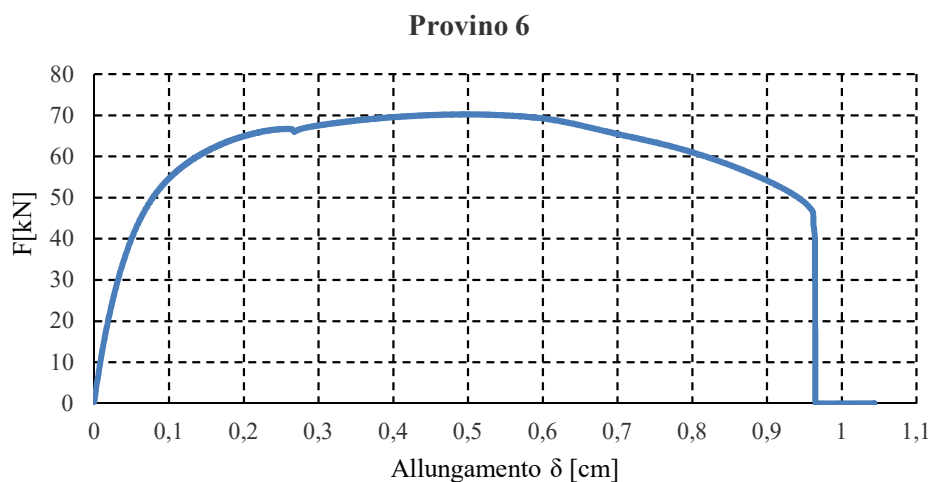


Fig. 5.264 Diagramma forza - allungamento del provino *Provino 6*

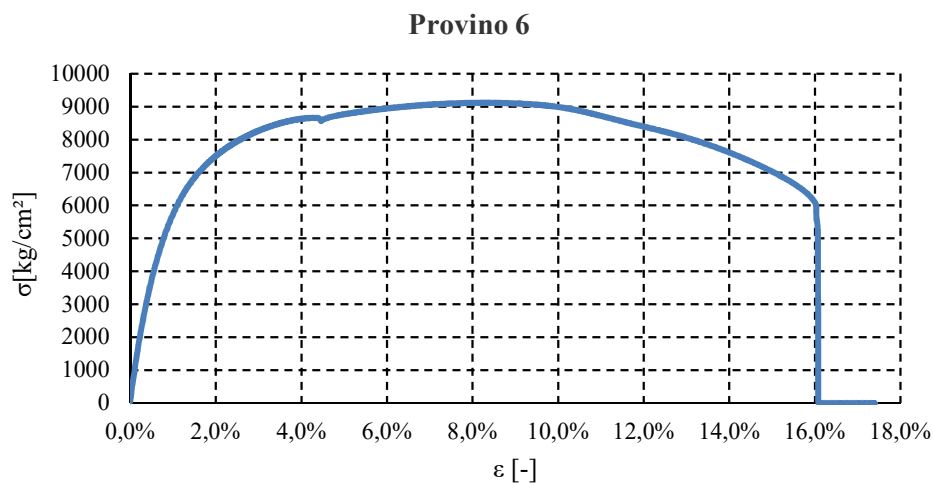


Fig. 5.265 Diagramma tensione - deformazione del provino *Provino 6*

Durante la prova si osserva una prima fase con comportamento elastico lineare, fino a valori di σ pari a circa 5000 kg/cm² e deformazioni dell'ordine dello 0,75%. Segue un comportamento non lineare fino a fine prova, coincidente con la rottura a trazione della sezione nella quale si è manifestata la strizione, in cui è possibile individuare la σ massima pari a 9123,67 kg/cm² e una deformazione ultima fittizia

del 16%. Si è parlato di deformazione fittizia in quanto durante la prova per motivi tecnologici non è stato possibile utilizzare il deformometro. Ne consegue che la ϵ indicata nel diagramma è ottenuta rapportando lo spostamento delle celle di carico alla lunghezza iniziale del provino pari in questo caso a 6 cm.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.110) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.266).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	21/11/2016
LUNGHEZZA	200 mm
AREA	78,85 mm ²
MATERIALE	Acciaio
TIPO DI PROVA	Prova a trazione
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza a trazione e della deformazione ultima.
DURATA DELLA PROVA	209 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F_{\max} [kN]	allungamento δ^* [mm]	Condizione
70,26	10,44	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a trazione.

Tab. 5.110 Scheda riepilogativa provino 6



Fig. 5.266 Provino *Provino 6* ad inizio, durante e fine prova

Risultati provino Provino 7

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-allungamento e tensione – deformazione in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.267 e Fig. 5.268).

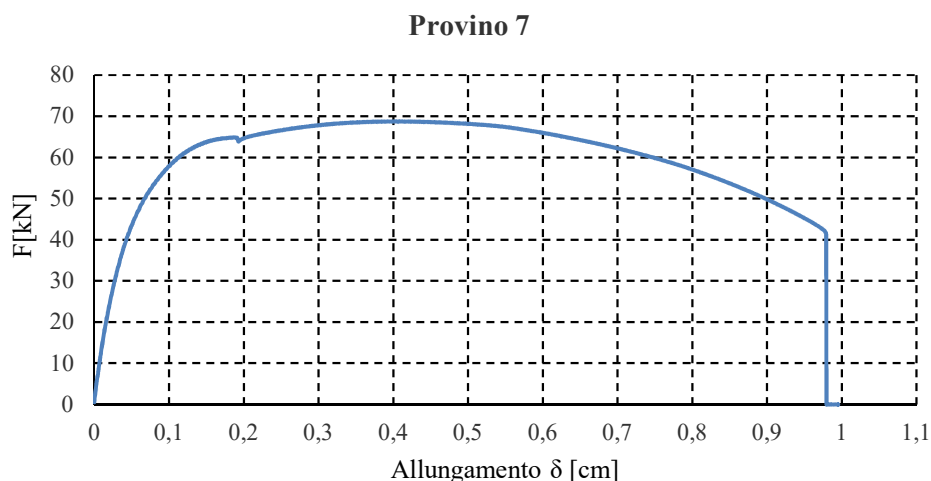


Fig. 5.267 Diagramma forza - allungamento del provino *Provino 7*

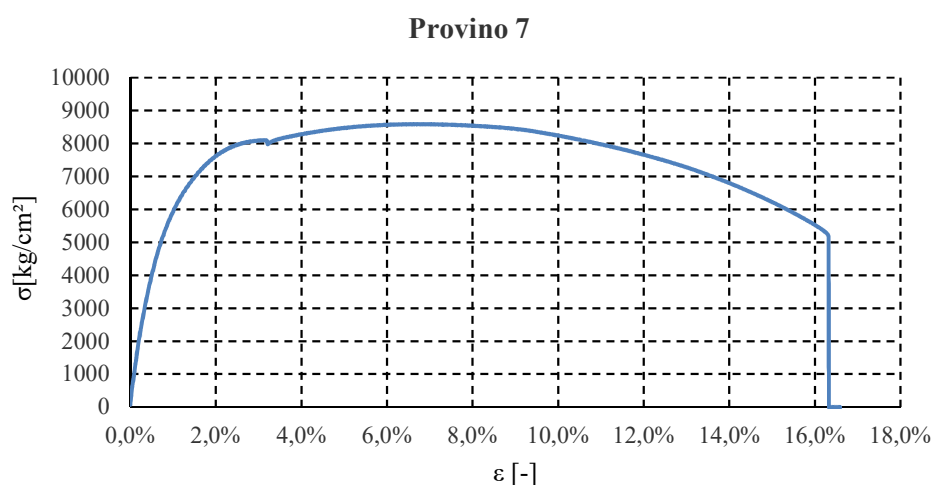


Fig. 5.268 Diagramma tensione - deformazione del provino *Provino 7*

Durante la prova si osserva una prima fase con comportamento elastico lineare, fino a valori di σ pari a circa 5000 kg/cm² e deformazioni dell'ordine dello 0,70%. Segue un comportamento non lineare fino a fine prova, coincidente con la rottura a trazione della sezione nella quale si è manifestata la strizione, in cui è possibile individuare la σ massima pari a 8590 kg/cm² e una deformazione ultima fittizia del 16,5%. Si è parlato di deformazione fittizia in quanto durante la prova per motivi tecnologici non è stato possibile utilizzare il deformometro. Ne consegue che la ε indicata nel diagramma è ottenuta rapportando lo spostamento delle celle di carico alla lunghezza iniziale del provino pari in questo caso a 6 cm.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.111) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.269).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO		
DATA DI PROVA	21/11/2016	
LUNGHEZZA	200 mm	
AREA	78,85 mm ²	
MATERIALE	Acciaio	
TIPO DI PROVA	Prova a trazione	
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza a trazione e della deformazione ultima.	
DURATA DELLA PROVA	200 secondi	
COMPORTAMENTO DEL PROVINO		
carico F _{max} [kN] 68,74	allungamento δ* [mm] 10	Condizione Ultima
TIPOLOGIA DI ROTTURA		
Rottura a trazione.		

Tab. 5.111 Scheda riepilogativa provino 7



Fig. 5.269 Provino *Provino 7* ad inizio, durante e fine prova

Alcune brevi considerazioni sul quarto sottogruppo di provini

I provini hanno mostrato avere un comportamento analogo: in entrambe le prove è presente un primo tratto elastico lineare fino a valori di tensioni pari a circa 5000 kg/cm² con deformazioni dell'ordine dello 0,7%. A questo segue un comportamento non lineare fino a fine prova che corrisponde con la crisi del provino dovuto alla rottura della sezione in cui si è avuta la strizione. Si ricorda che la deformazione, ottenuta dal rapporto tra lo spostamento delle celle di carico e la lunghezza iniziale dei provini, e l'allungamento riportati nei diagrammi sono fittizi in quanto durante la prova per motivi tecnologici non è stato possibile utilizzare il deformometro.

Di seguito grafici riassuntivi delle prove svolte e una tabella con la media dei risultati ottenuti

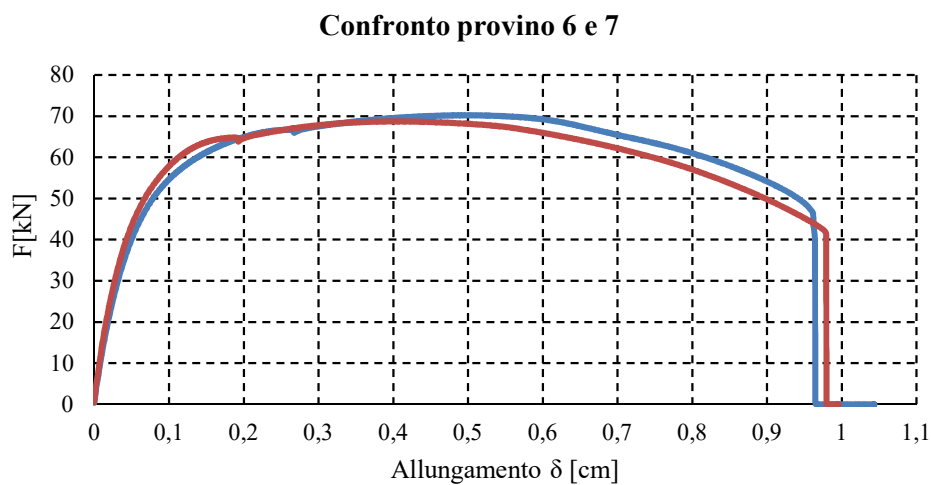


Fig. 5.270 Diagramma forza - allungamento dei provini *Provino 6* e *Provino 7*

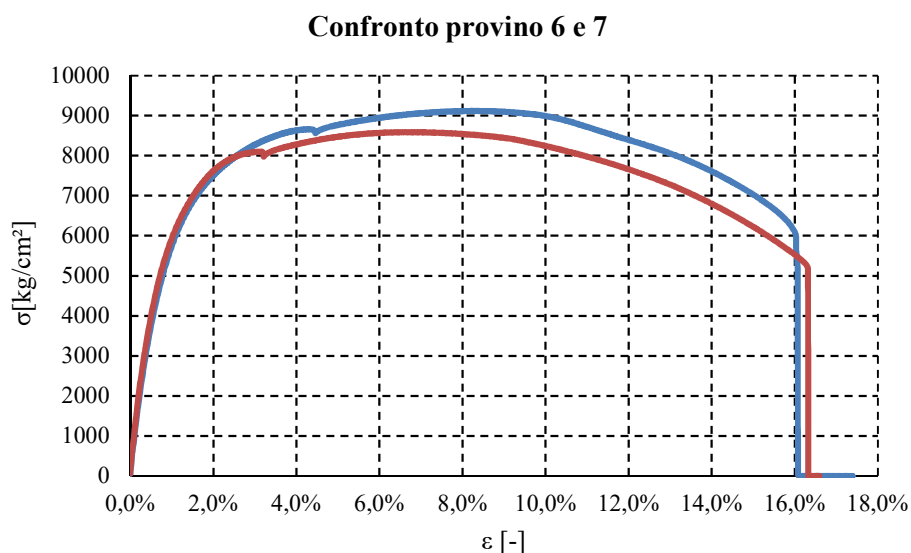


Fig. 5.271 Diagramma tensione -deformazione dei provini *Provino 6* e *Provino 7*

Provino	F_{\max} [kN]	Tipologia di rottura	σ_{\max} [kg/cm ²]
Piastra 6	70,26	Duttile a trazione	9123,67
Piastra 7	68,74	Duttile a trazione	8591,00
Media	69,5	-	8857,33

Tab. 5.112 Riepilogo risultati delle prove

5.9 Prove a flessione su solai *Porepan* senza soletta (GRUPPO E)

Il programma di prove ha previsto l'esecuzione di n.3 prove a flessione (su "3 punti forza") su provini di legno *Porepan*, costituiti da Abete Austriaco (C24) ed eps, di dimensioni 1600x208x160 mm (LxBxS). Questi sono costituiti da due tavole in legno strutturale con interposto eps. Le tavole hanno spessore 40 mm mentre lo strato di eps presenta uno spessore di 8 mm. Alle due estremità le tavole sono collegate mediante collegamenti lignei (Fig. 5.272). Le prove sono state effettuate ai fini della determinazione della rigidezza flessionale, della resistenza, della tipologia di rottura e schiacciamento dell'eps localizzato sotto l'azione di carichi concentrati.

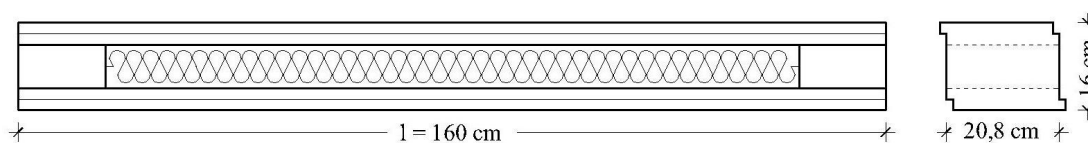


Fig. 5.272 Dimensioni dei provini da testare

Le prove a flessione sono state effettuate fuori norma. La velocità di prova è stata di 20 mm/min per le prime due e 15 mm/min per la terza prova. L'apparecchio di prova utilizzato è la macchina per prove a flessione della Metrocom di proprietà della G.R. Sistemi già descritta nel Capitolo 3 ("Descrizione delle macchine di prova").

Essendo legno strutturale, sono presenti difetti quali nodi, deviazione della fibratura, fratture interne che influenzano, a seconda della loro posizione, il risultato della prova e, quindi, i valori delle caratteristiche meccaniche. Il criterio adottato per la determinazione delle dimensioni dei nodi viene riportato nella figura seguente:



Set-up di prova

Per ottenere dei buoni risultati di prova, si è fatta particolare attenzione sia al posizionamento del provino sotto la macchina, sia nel predisporre tutti gli strumenti di misura necessari all'acquisizione dei dati. Per eliminare qualsiasi eccentricità nell'applicazione al carico, il provino deve essere centrato rispetto all'attuatore e rispetto, quindi, al banco di prova. Per il centraggio del provino sul banco di prova, su quest'ultimo sono state tracciate tre linee, due rappresentanti le direzioni degli appoggi ed una rappresentante la direzione di carico (Fig. 5.273).

In base a queste si sono fissati gli appoggi secondo la configurazione di prova riportata in Figura 5.274.

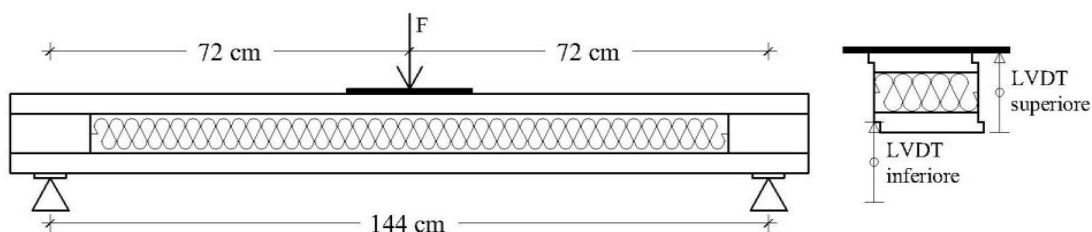


Fig. 5.273 Configurazione di prova

Infine, il provino, avendo già segnato su di esso le linee di mezzeria in entrambe le direzioni, è stato poggiato sugli appoggi, facendo coincidere le linee tracciate su provino, appoggio, banco di prova (Fig 5.274).



Fig. 5.274 Centraggio provini e posizionamento appoggi-coltello di carico

Inoltre, gli abbassamenti (da entrambi i lati) in mezzeria sono stati misurati attraverso il posizionamento di due trasduttori elettronici per valutare lo schiacciamento localizzato dell'eps (Fig. 5.275). Nel fissaggio si è fatta molta attenzione al mantenimento della perfetta verticalità degli strumenti di misura, affinché venga letto solamente l'abbassamento verticale e non eventuali componenti.

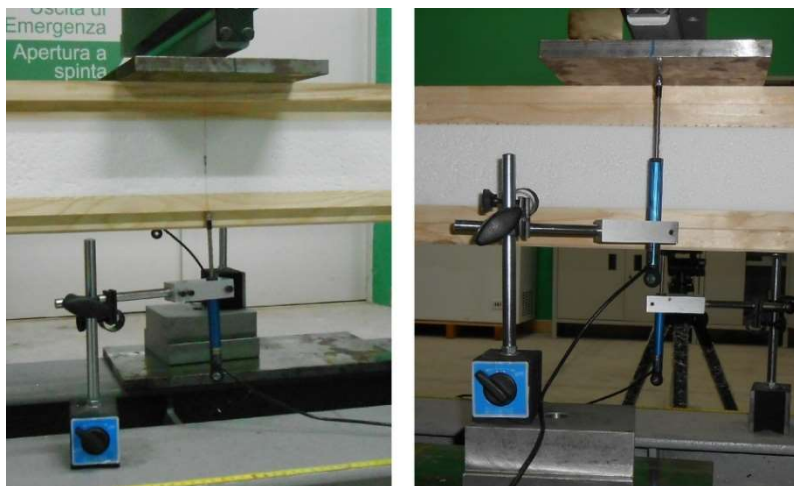


Fig. 5.275 Posizionamento trasduttori elettronici

I dati di output della strumentazione di prova sono:

- durata della prova [sec];
- forza dell'attuatore [kN];

- abbassamento in mezzeria [mm];
- abbassamento delle tavole [mm].

Dai dati è stato possibile ottenere i diagrammi forza-abbassamento in mezzeria e quelli relativi allo schiacciamento dell'eps, ovvero i diagrammi forza-schiacciamento eps. Questi ultimi sono stati ottenuti considerando come accorciamento relativo dell'eps la differenza di accorciamento fra i due trasduttori elettronici.

Suddivisione e dimensioni dei provini

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa contenente le caratteristiche geometriche dei provini testati a flessione e la velocità di prova (Tab. 5.113).

Provino	Lunghezza [cm]	Larghezza [cm]	Spessore [cm]	Velocità di prova [mm/min]
F1	160	20,8	16	20
F2	160	20,8	16	20
F3	160	20,8	16	15

Tab. 5.113 Caratteristiche geometriche dei provini testati

Risultati delle prove

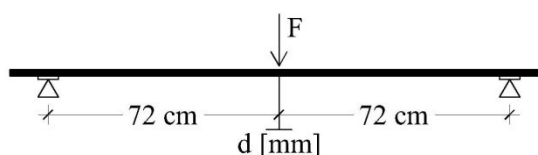
Si riportano di seguito i risultati delle prove dei provini F1, F2 ed F3.

Risultati provino F1

Il *provino F1* presenta sulla faccia inferiore cinque nodi di cui tre di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura. Sulla faccia superiore è presente un solo nodo allungato di modeste dimensioni. Il taglio della tavola è avvenuta “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare.

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento relativo al potenziometro a filo in mezzeria (Fig. 5.275), il diagramma forza-abbassamento relativo ai due trasduttori elettronici (Fig. 5.276) e il diagramma forza-spostamento dove per spostamento δ si intende l'accorciamento dell'eps in prossimità del punto di carico (Fig. 5.277). Quest'ultimo diagramma si ottiene dalla differenza di spostamento dei due trasduttori elettronici. Dal grafico forza-abbassamento del provino in esame, si registra un tratto lineare fino all'attingimento della prima fessurazione in corrispondenza di una forza di 14,1 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 11,8 mm. Si registra uno scorrimento tra il tozzetto di sinistra e la tavola superiore. A fine prova questo scorrimento risultava pari a 35 mm. La rottura ultima del provino è avvenuta a trazione della tavola inferiore a una forza di 16,4 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 60,5 mm.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.114) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.278).



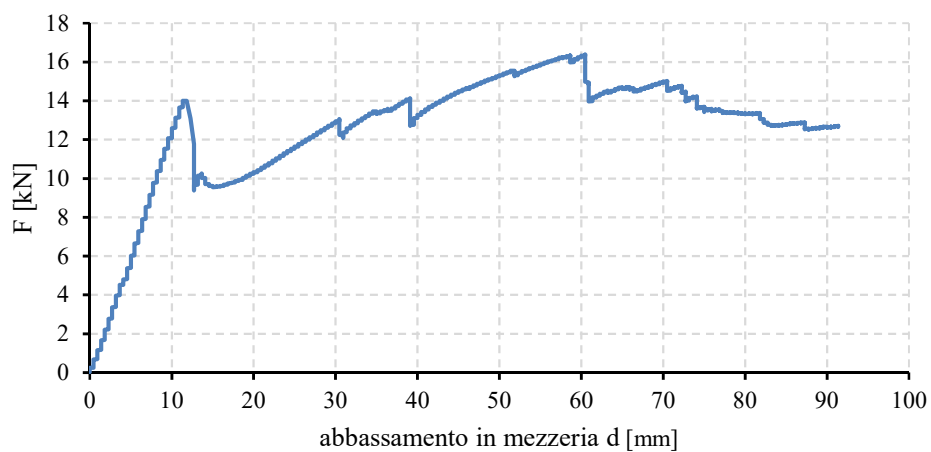


Fig. 5.275 Diagramma forza-abbassamento provino F1 (potenziometro a filo)

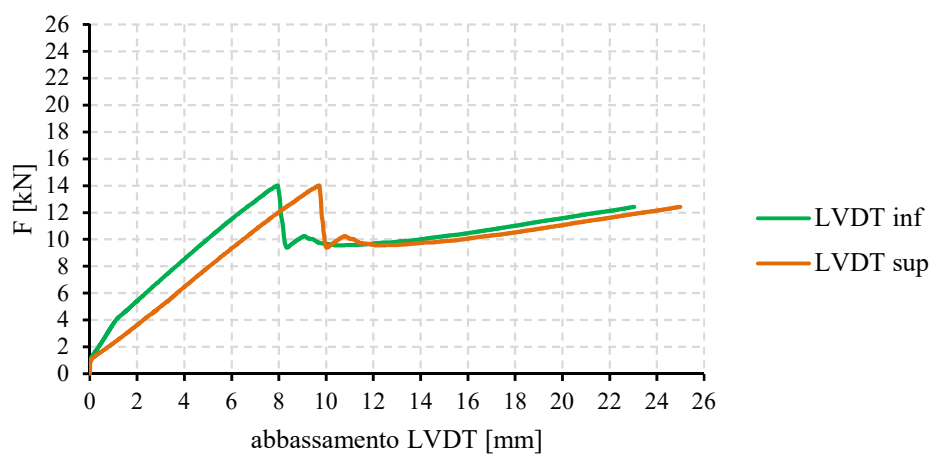


Fig. 5.276 Diagramma forza-abbassamento provino F1 (trasduttori elettronici)

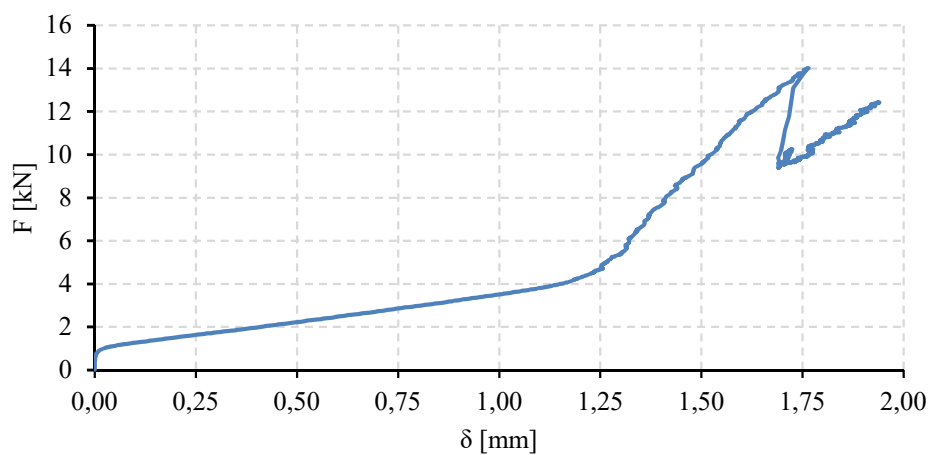


Fig. 5.277 Diagramma forza-schiacciamento eps provino F1

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/11/2015
DIMENSIONI	1600x208x160 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Abete Austriaco ed eps
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP: 1
	FACCIA INF: 3
	ESTREMO DX: /
	ESTREMO SX: /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione su 3 punti forza
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidezza flessionale, della resistenza, della tipologia di rottura e schiacciamento eps.
VELOCITA' DI PROVA	20 mm/min
DURATA DELLA PROVA	279 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F [kN]	abbassamento in mezzeria d [mm]	CONDIZIONE
14,1	11,8	Prima fessurazione
14,1	11,8	Elastica
16,4	60,5	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Scorrimento fra il tozzetto di sinistra e la tavola superiore;
rottura ultima a trazione per flessione in mezzeria

Tab. 5.114 Scheda riepilogativa provino F1



Fig. 5.278 Foto provino F1

Risultati provino F2

Il provino F2 è caratterizzato dalla presenza sulla faccia inferiore di otto nodi di cui quattro di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura. Sulla faccia superiore sono presenti circa tredici nodi di cui quattro allungati e di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura.

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento relativo al potenziometro a filo in mezzeria (Fig. 5.279), il diagramma forza-abbassamento relativo ai due trasduttori elettronici (Fig. 5.280) e il diagramma forza-spostamento dove per spostamento δ si intende l'accorciamento dell'eps in prossimità del punto di carico (Fig. 5.281). Quest'ultimo diagramma si ottiene dalla differenza di spostamento dei due trasduttori elettronici.

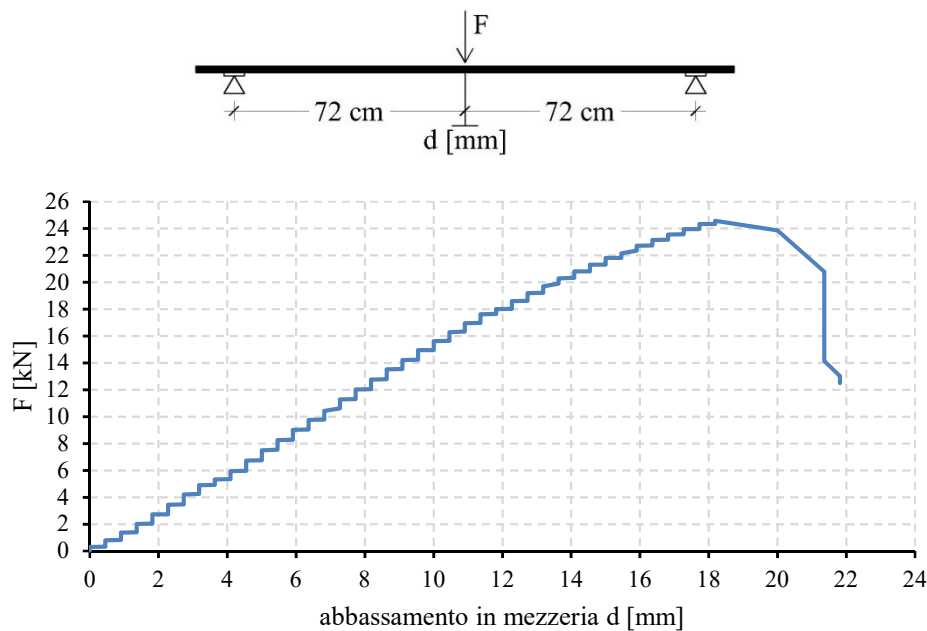


Fig. 5.279 Diagramma forza-abbassamento provino F2 (potenziometro a filo)

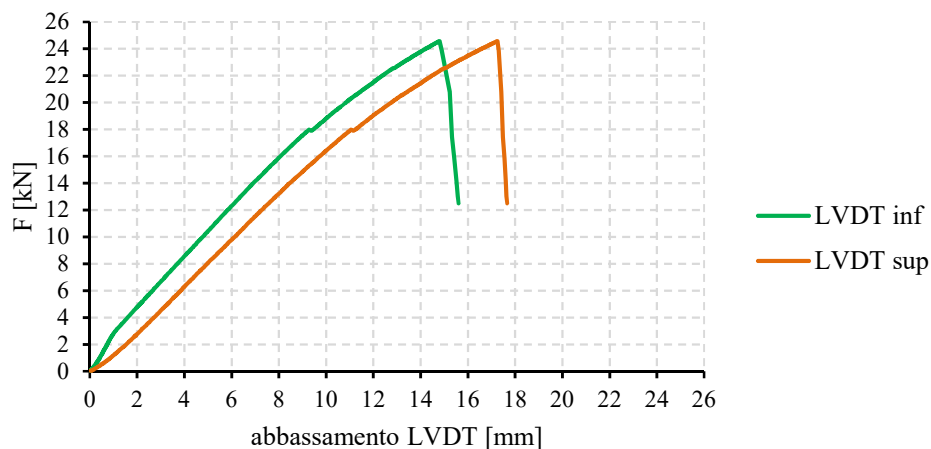


Fig. 5.280 Diagramma forza-abbassamento provino F2 (trasduttori elettronici)

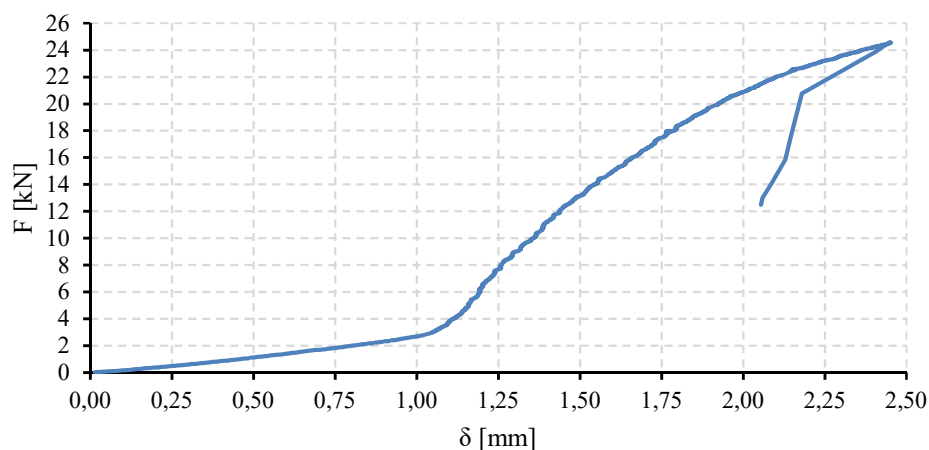


Fig. 5.281 Diagramma forza-schiacciamento eps provino F2

Il grafico forza-abbassamento del provino F2 presenta un tratto elastico lineare fino al valore di forza 17,6 kN a cui corrisponde un abbassamento di 10,8 mm. Si registra un leggero scorrimento tra il tozzetto di sinistra e la tavola superiore. Attinto il valore di forza di 24,6 kN, la tavola ha subito una rottura a taglio in prossimità del tozzetto di sinistra.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.115) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.282).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/11/2015
DIMENSIONI	1600x208x160 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Abete Austriaco ed eps
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP: 4
	FACCIA INF: 4
	ESTREMO DX: /
	ESTREMO SX: /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione su 3 punti forza
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidezza flessionale, della resistenza, della tipologia di rottura e schiacciamento eps.
VELOCITA' DI PROVA	20 mm/min
DURATA DELLA PROVA	57 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F [kN]	abbassamento in mezzeria d [mm]	CONDIZIONE
24,6	22,1	Prima fessurazione
17,6	10,8	Elastica
24,6	18,2	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Scorrimento fra il tozzetto di sinistra e la tavola superiore;
rottura ultima a taglio in prossimità del tozzetto di sinistra.

Tab. 5.115 Scheda riepilogativa provino F2

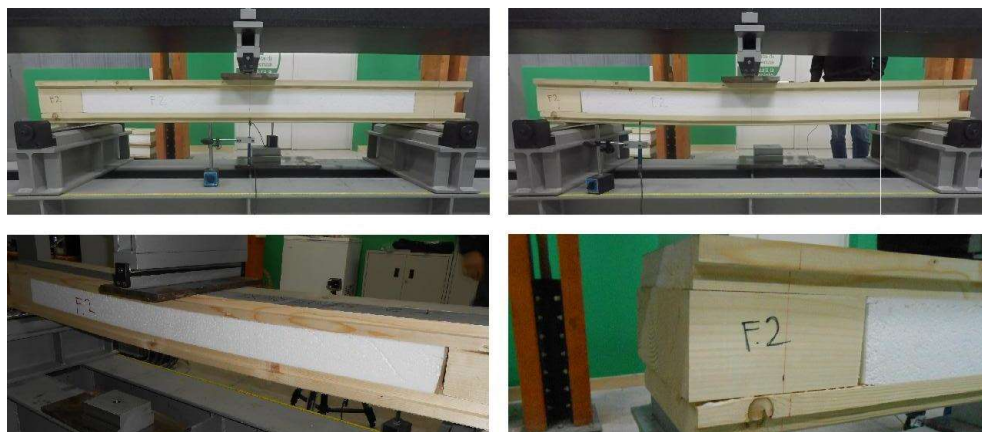


Fig. 5.282 Foto provino F2

Risultati provino F3

Il *provino F3* è caratterizzato dalla presenza sulla faccia inferiore di sette nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura. Sulla faccia superiore sono presenti nove nodi di cui uno di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura.

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento relativo al potenziometro a filo in mezzeria (Fig. 5.283), il diagramma forza-abbassamento relativo ai due trasduttori elettronici (Fig. 5.284) e il diagramma forza-spostamento dove per spostamento δ si intende l'accorciamento dell'eps in prossimità del punto di carico (Fig. 5.285). Quest'ultimo diagramma si ottiene dalla differenza di spostamento dei due trasduttori elettronici.

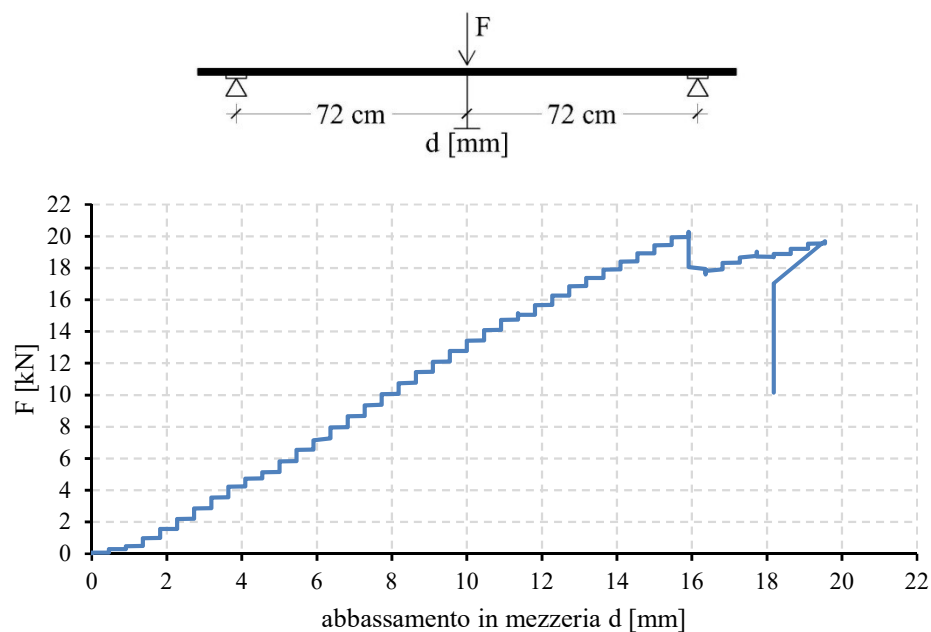


Fig. 5.283 Diagramma forza-abbassamento provino F3 (potenziometro a filo)

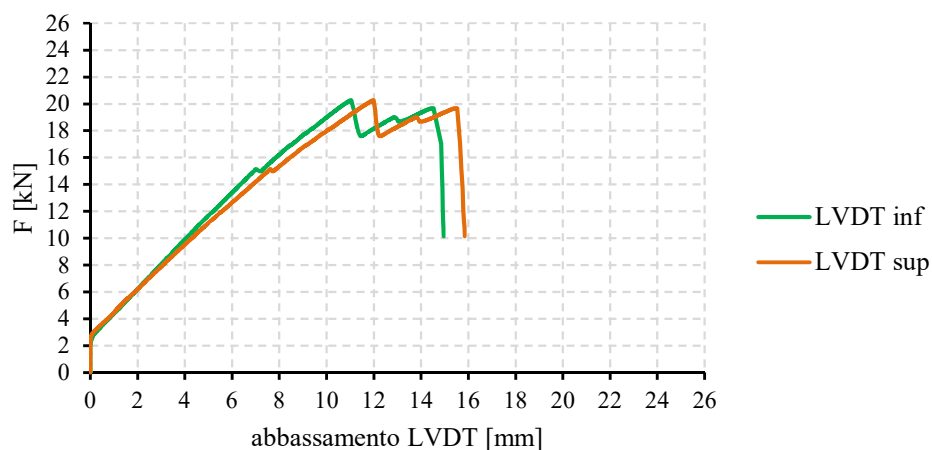


Fig. 5.284 Diagramma forza-abbassamento provino F3 (trasduttori elettronici)

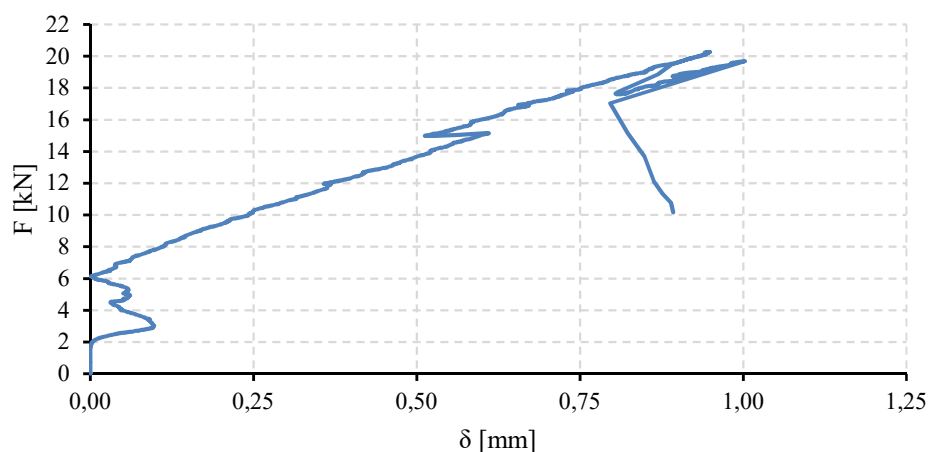


Fig. 5.285 Diagramma forza-schiacciamento eps provino F3

Il grafico forza-abbassamento del provino F3 presenta un tratto elastico lineare fino al valore di forza 15,4 kN a cui corrisponde un abbassamento di 11,8 mm. Attinto il valore di forza di 20,3 kN, il tozzetto a destra del provino comincia a rompersi a taglio. La rottura ultima a taglio del provino si registra in corrispondenza di un valore di forza di 19,7 kN a cui corrisponde un abbassamento di 19,5 mm.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.116) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.286).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/11/2015
DIMENSIONI	1600x208x160 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Abete Austriaco ed eps
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP: 1
	FACCIA INF: 7
	ESTREMO DX: /
	ESTREMO SX: /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione su 3 punti forza
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidezza flessionale, della resistenza, della tipologia di rottura e schiacciamento eps.
VELOCITA' DI PROVA	15 mm/min
DURATA DELLA PROVA	82 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F [kN]	abbassamento in mezzeria d [mm]	CONDIZIONE
20,3	15,9	Prima fessurazione
15,4	11,8	Elastica
19,7	19,5	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura ultima a taglio del tozzetto di destra

Tab. 5.116 Scheda riepilogativa provino F3

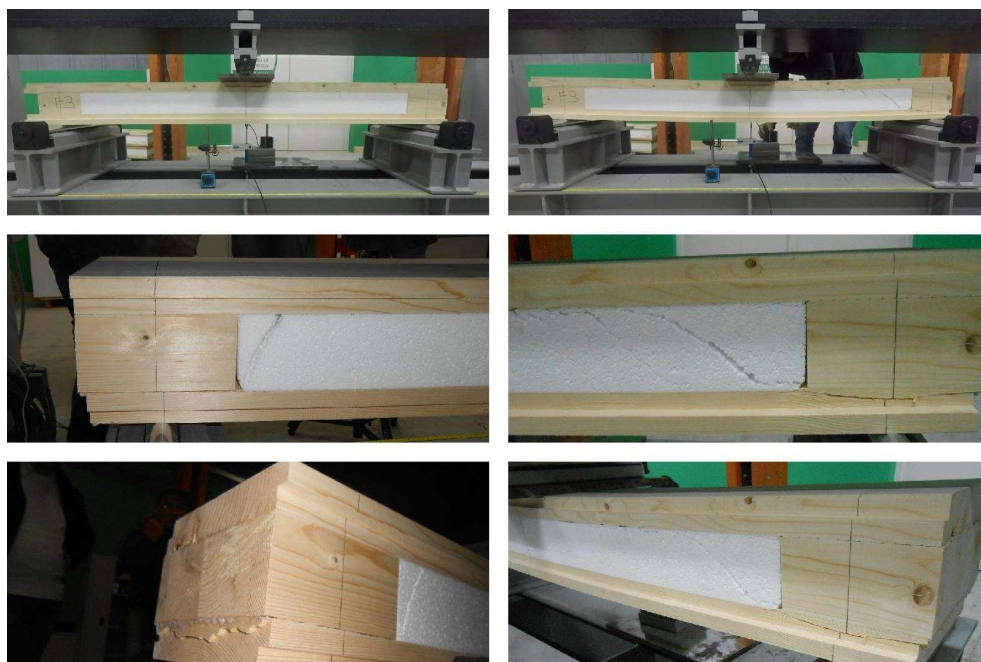


Fig. 5.286 Foto provino F3

Riepilogo dei risultati

Si riportano, di seguito, i grafici riepilogativi forza-abbassamento relativi al potenziometro a filo in mezzeria e forza-spostamento δ , dove per δ si intende l'accorciamento dell'eps in prossimità del punto di carico (Fig. 5.287 e 5.288).

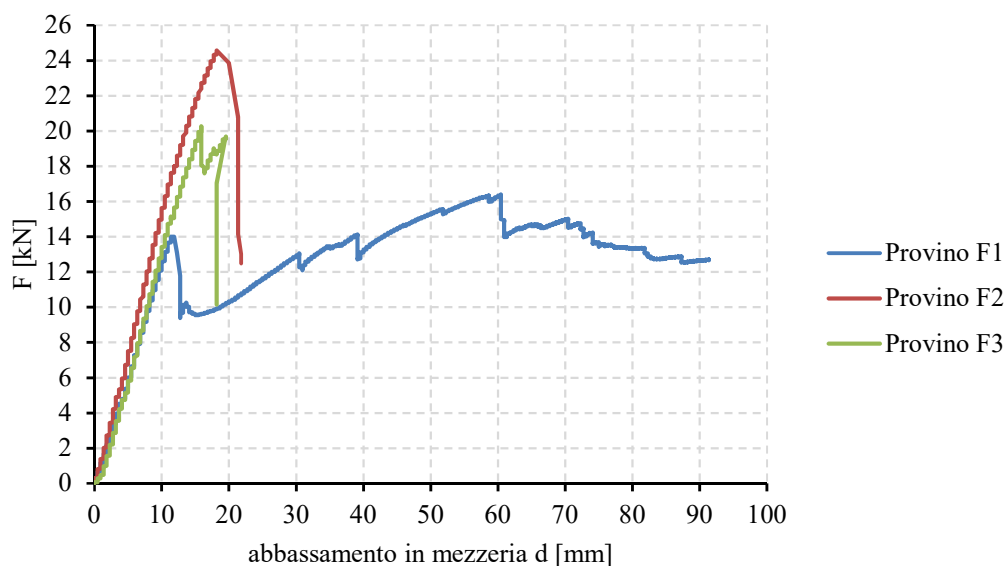


Fig. 5.287 Diagramma riepilogativo forza-abbassamento

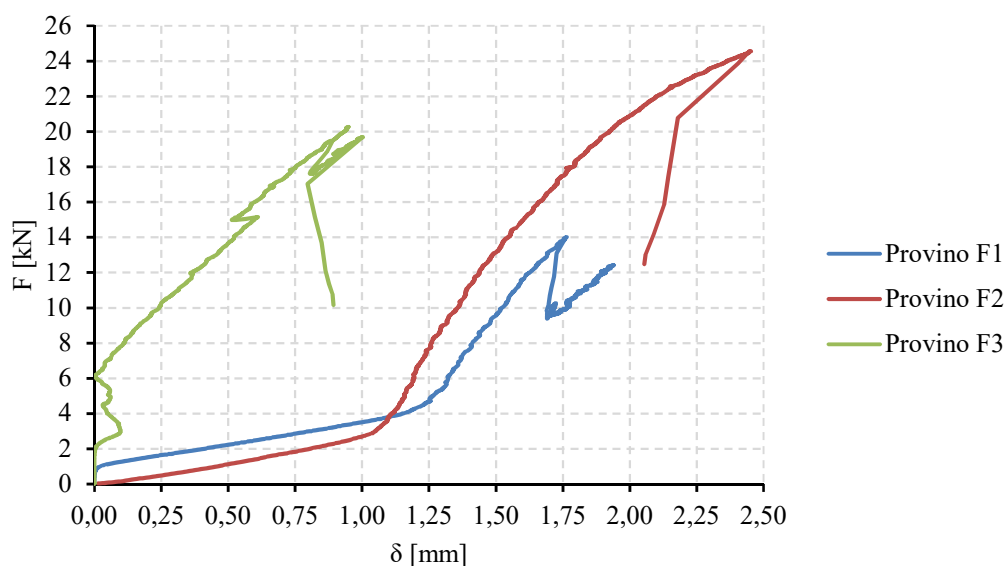


Fig. 5.288 Diagramma riepilogativo forza-schiacciamento eps

Le prove effettuate hanno determinate che il comportamento del sistema eps-tavola sotto l'azione di carichi concentrati esclude il pericolo di uno schiacciamento localizzato dell'eps.

Si riporta, di seguito, la relativa tabella riepilogativa dei risultati ottenuti dalle prove sperimentali (Tab. 5.117).

GRUPPO	Provino	carico F [kN]	abbassamento in mezzzeria d [mm]	taglio V [kN]	momento flettente M [kNm]	CONDIZIONE
E	F1	14,1	11,8	7,1	5,1	Prima fessurazione
		14,1	11,8	7,1	5,1	Elastica
		16,4	60,5	8,2	5,9	Ultima
	F2	24,6	22,1	12,3	8,9	Prima fessurazione
		17,6	10,8	8,8	6,3	Elastica
		24,6	18,2	12,3	8,9	Ultima
	F3	20,3	15,9	10,2	7,3	Prima fessurazione
		15,4	11,8	7,7	5,5	Elastica
		19,7	19,5	9,9	7,1	Ultima

Tab. 5.117 Tabella riepilogativa dei risultati

5.10 Prove a flessione su solai *Porepan* con soletta collaborante (GRUPPO H)

Il programma di prove ha previsto l'esecuzione di n.6 prove a flessione su due gruppi di provini. In particolare:

- per il primo gruppo H1 sono state eseguite n.3 prove a flessione su “4 punti forza” in controllo di spostamento su provini di legno *Porepan* di Abete Rosso (classe C24 classificato dall'azienda). La sezione trasversale del provino ha dimensioni 400x200 mm mentre la lunghezza risulta pari a 3060 mm (Fig. 5.289);

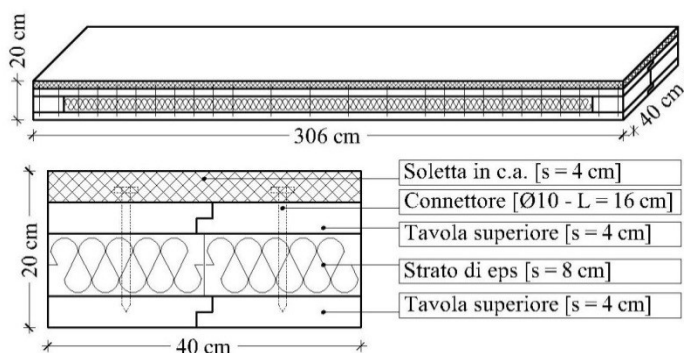


Fig. 5.289 Provini del primo gruppo

- per il secondo gruppo H2 sono state eseguite n.3 prove a flessione su “6 punti forza” in controllo di spostamento su provini di legno *Porepan* di Abete Rosso (classe C24 classificato dall'azienda). La sezione trasversale del provino ha dimensioni 400x200 mm mentre la lunghezza risulta pari a 4500 mm (Fig. 5.290).

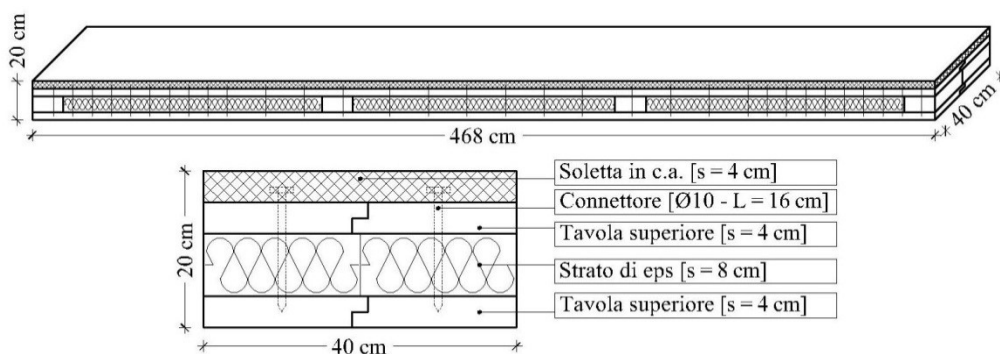


Fig. 5.290 Provini del secondo gruppo

I provini sono formati da due pannelli *Porepan* accoppiati, uniti tramite delle viti che collegano i collegamenti lignei. Mentre la soletta superiore è realizzata da un calcestruzzo leggero strutturale LECA CLS 1600 ($\gamma=1600 \text{ kg/m}^3$) C25/30 armato con una maglia di ferri $\phi 6 \text{ 20x20 cm}$ (Fig. 5.291).



Fig. 5.291 Fasi di costruzione dei provini

Inoltre, per entrambi i gruppi di provini, la soletta è collaborante mediante l'impiego di connettori metallici (Fig. 5.291). Tali presentano un diametro $\phi 10$ ed una lunghezza di 16 cm disposti, per il primo gruppo di provini ($l = 306 \text{ cm}$) ad interasse di 10 cm per il primo metro dall'appoggio e ogni 25 cm nella parte centrale per il primo per il secondo gruppo di provini ($l = 468 \text{ cm}$) ad interasse di 10 cm per il primo metro dall'appoggio e ogni 20 cm nella parte centrale.

Le prove a flessione sono state effettuate fuori norma. La velocità di prova è di 10 mm/min per tutte le prove effettuate. L'apparecchio di prova utilizzato è la macchina per prove a flessione della Metrocom di proprietà della G.R. Sistemi già descritta nel Capitolo 3 ("Descrizione delle macchine di prova").

Set-up di prova

Per ottenere dei buoni risultati di prova, si è fatta particolare attenzione sia al posizionamento del provino sotto la macchina, sia nel predisporre tutti gli strumenti di misura necessari all'acquisizione dei dati. In particolare, gli spostamenti sono stati misurati tramite un trasduttore elettronico ad alta risoluzione per la misurazione della freccia al centro dei pannelli. Inoltre, per eliminare qualsiasi eccentricità nell'applicazione al carico, il provino deve essere centrato rispetto all'attuatore e rispetto, quindi, al banco di prova. Per il centraggio del provino sul banco di prova, su quest'ultimo sono state tracciate tre linee, due rappresentanti le direzioni degli appoggi ed una rappresentante la direzione del coltello di carico. Si riportano, di seguito, le configurazioni di prova relative ai due gruppi di provini (Fig. 5.292 e 5.293).

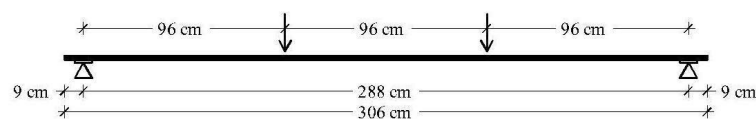


Fig. 5.292 Configurazione di prova provini del primo gruppo H1

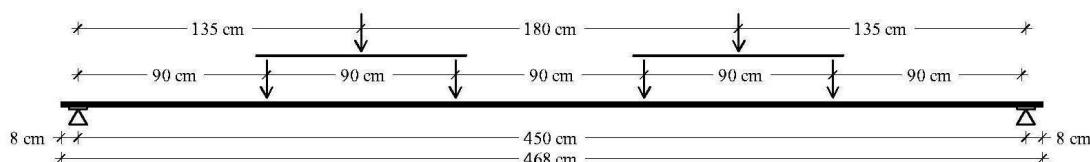


Fig. 5.293 Configurazione di prova provini del secondo gruppo H2

Infine, il provino, avendo già segnato su di esso le linee di mezzeria in entrambe le direzioni, è stato poggiato sugli appoggi, facendo coincidere le linee tracciate su provino, appoggio, banco di prova (Fig 5.294).



Fig. 5.294 Centraggio provini

I dati di output della strumentazione di prova sono:

- durata della prova [sec];
- forza dell'attuatore [kN];
- abbassamento [mm].

Da questi dati sono stati utilizzati la forza e l'abbassamento per ottenere i diagrammi F- δ , dove con δ si indica l'abbassamento in mezzeria.

Suddivisione e dimensioni dei provini

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa contenente le caratteristiche geometriche dei provini testati a flessione e la velocità di prova (Tab. 5.118).

Sotto-Gruppo	Provino	Lunghezza [cm]	Larghezza [cm]	Spessore [cm]	Velocità di prova [mm/min]
H1	P.C.S_1	306	40	20	10
	P.C.S_2	306	40	20	10
	P.C.S_3	306	40	20	10
H2	P.C.S_4	468	40	20	10
	P.C.S_5	468	40	20	10
	P.C.S_6	468	40	20	10

Tab. 5.118 Caratteristiche geometriche dei provini testati

5.3.3.5. Risultati delle prove: primo gruppo H1

Il primo gruppo è costituito dai seguenti provini:

- provino P.C.S_1 ($l = 306$ cm);
- provino P.C.S_2 ($l = 306$ cm);
- provino P.C.S_3 ($l = 306$ cm).

Risultati provino P.C.S_1

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento relativo al potenziometro a filo in mezzeria (Fig. 5.295).

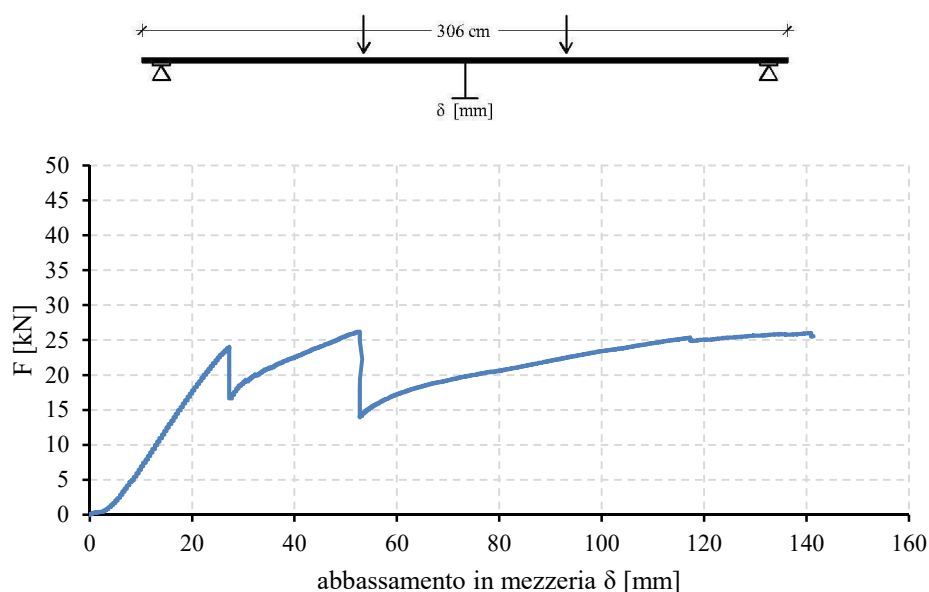


Fig. 5.295 Diagramma forza-abbassamento in mezzeria (provino P.C.S_1)

Dal grafico forza-abbassamento del provino in esame, si registra un tratto lineare fino all'attingimento della prima fessurazione in corrispondenza di una forza di 24,0 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 27,3 mm. In corrispondenza di questo carico si è riscontrata la prima rottura a taglio dei collegamenti lignei di estremità con un conseguente abbattimento del carico fino ad una forza di 16,7 kN. Da questo punto si verifica un secondo tratto lineare fino ad un valore di forza pari a 26,2 kN con un corrispondente abbassamento pari a 52,7 mm. Il provino, in questa fase, ha manifestato una rottura atipica del giunto a pettine della tavola inferiore. Questa rottura è di tipo fragile ed è dovuta molto probabilmente alla mancanza della colla presente tra i due giunti. La rottura ultima del provino è avvenuta per trazione ed ha interessato la tavola inferiore. Il valore di forza ultimo è di 25,6 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 141,6 mm. Inoltre la soletta superiore in c.a. ha manifestato un comportamento elastico lineare fino alla fine della prova.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.119) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.296).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	07/03/2016
DIMENSIONI	3060x400x200 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Pannello Porepan con soletta collaborante
TIPO DI PROVA	Prova a flessione su 4 punti forza
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidezza flessionale, della resistenza e della tipologia di rottura.
VELOCITA' DI PROVA	10 mm/min
DURATA DELLA PROVA	865 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F [kN]	abbassamento in mezzeria δ [mm]	CONDIZIONE
24,0	27,3	Prima fessurazione
24,0	27,3	Elastica
25,6	141,6	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dei collegamenti lignei di estremità; rottura del giunto a pettine della tavola inferiore;
rottura ultima a trazione per flessione della tavola inferiore

Tab. 5.119 Scheda riepilogativa provino P.C.S_1



Fig. 5.296 Foto provino P.C.S_1

Risultati provino P.C.S_2

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento relativo al potenziometro a filo in mezzeria (Fig. 5.297).

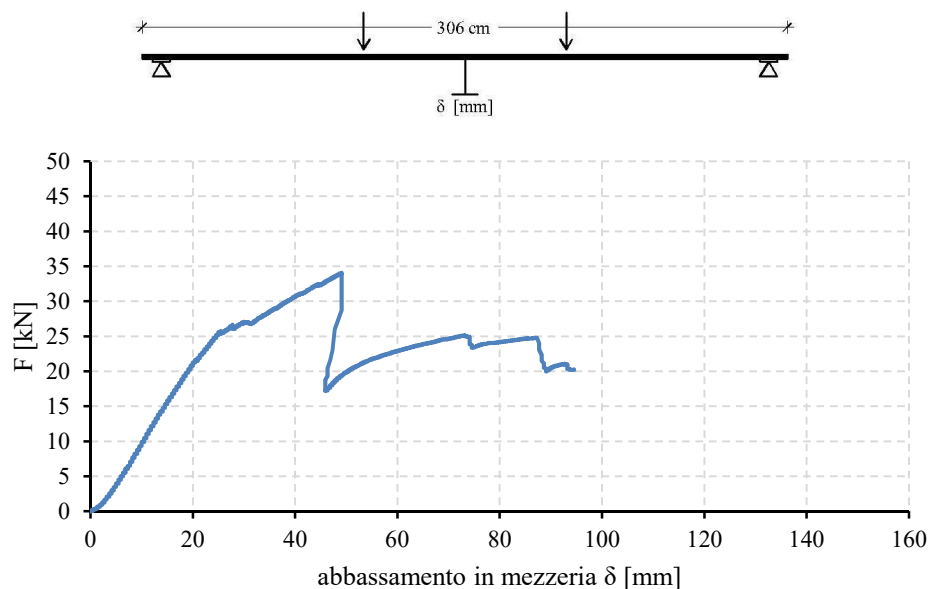


Fig. 5.297 Diagramma forza-abbassamento in mezzeria (provino P.C.S_2)

Dal grafico forza-abbassamento del provino in esame, si registra un tratto lineare fino all'attingimento della prima fessurazione in corrispondenza di una forza di 25,5 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 25,9 mm. Raggiunto questo valore di carico, la curva F - δ continua ad essere lineare fino ad una forza di 34,1 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 49,1 mm. In corrispondenza di questo carico si è riscontrato, oltre alla prima rottura a taglio dei collegamenti lignei di estremità, una rottura atipica del giunto a pettine della tavola inferiore con un conseguente abbattimento del carico fino ad una forza di 17,2 kN. Questa rottura è di tipo fragile ed è dovuta molto probabilmente alla mancanza della colla presente tra i due giunti. Da questo punto si verificano due tratti lineari fino ad un valore di forza pari a 24,8 kN con un corrispondente abbassamento pari a 87,3 mm. La rottura ultima del provino è avvenuta per trazione ed ha interessato la tavola superiore. Il valore di forza ultimo è di 20,2 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 94,5 mm. Inoltre la soletta superiore in c.a. ha manifestato un comportamento elastico lineare fino alla fine della prova.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.120) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.298).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	07/03/2016
DIMENSIONI	3060x400x200 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Pannello Porepan con soletta collaborante
TIPO DI PROVA	Prova a flessione su 4 punti forza
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidezza flessionale, della resistenza e della tipologia di rottura.
VELOCITA' DI PROVA	10 mm/min
DURATA DELLA PROVA	589 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F [kN]	abbassamento in mezzeria δ [mm]	CONDIZIONE
25,5	25,9	Prima fessurazione
34,1	49,1	Elastica
20,2	94,5	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dei collegamenti lignei di estremità; rottura del giunto a pettine della tavola inferiore;
rottura ultima a trazione per flessione della tavola inferiore

Tab. 5.120 Scheda riepilogativa provino P.C.S_2



Fig. 5.298 Foto provino P.C.S_2

Risultati provino P.C.S_3

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento relativo al potenziometro a filo in mezzeria (Fig. 5.299).

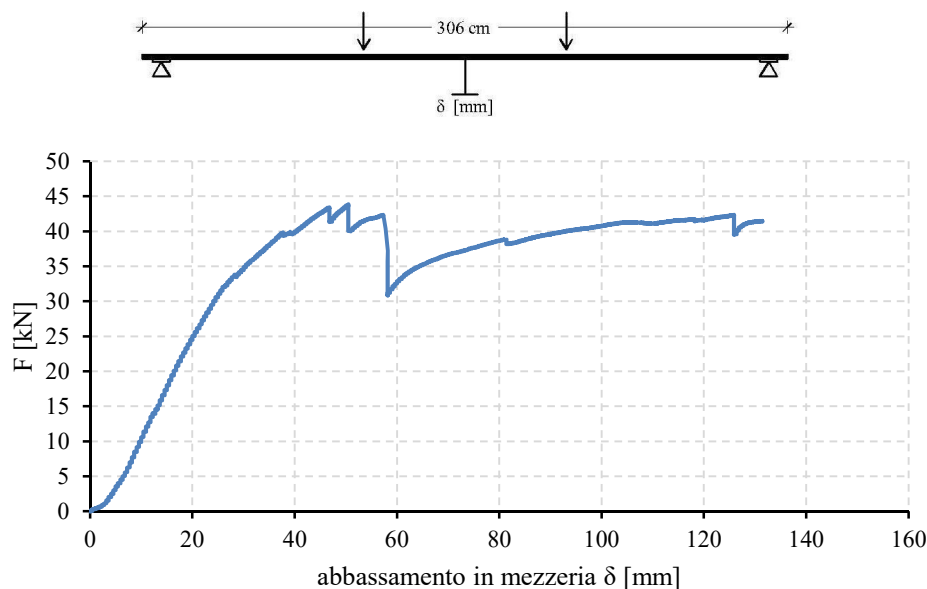


Fig. 5.299 Diagramma forza-abbassamento in mezzeria (provino P.C.S_3)

Dal grafico forza-abbassamento del provino in esame, si registra un tratto lineare fino all'attingimento della prima fessurazione in corrispondenza di una forza di 39,6 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 38,2 mm. Raggiunto questo valore di carico, la curva F - δ continua ad essere lineare fino ad una forza di 43,5 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 50,5 mm. In corrispondenza di questo carico si è riscontrata la prima rottura a taglio dei collegamenti lignei di estremità con un conseguente abbattimento del carico fino ad una forza di 30,9 kN. Da questo punto si verifica un secondo tratto lineare fino ad un valore di forza pari a 42,3 kN con un corrispondente abbassamento pari a 125,9 mm. La rottura ultima del provino è avvenuta per trazione ed ha interessato la tavola inferiore. Il valore di forza ultimo è di 41,5 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 131,4 mm. Inoltre la soletta superiore in c.a. ha manifestato un comportamento elastico lineare fino alla fine della prova.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.121) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.300).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	07/03/2016
DIMENSIONI	3060x400x200 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Pannello Porepan con soletta collaborante
TIPO DI PROVA	Prova a flessione su 4 punti forza
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidezza flessionale, della resistenza e della tipologia di rottura.
VELOCITA' DI PROVA	10 mm/min
DURATA DELLA PROVA	800 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F [kN]	abbassamento in mezzeria δ [mm]	CONDIZIONE
39,6	38,2	Prima fessurazione
43,5	50,5	Elastica
41,5	131,4	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dei collegamenti lignei di estremità; rottura del giunto a pettine della tavola inferiore;
rottura ultima a trazione per flessione della tavola inferiore

Tab. 5.121 Scheda riepilogativa provino P.C.S_3



Fig. 5.300 Foto provino P.C.S_3

Riepilogo dei risultati del primo gruppo H1

Si riporta, di seguito, il grafico riepilogativo forza-abbassamento relativo al potenziometro a filo in mezzeria contenente la media dei provini testati (Fig. 5.301).

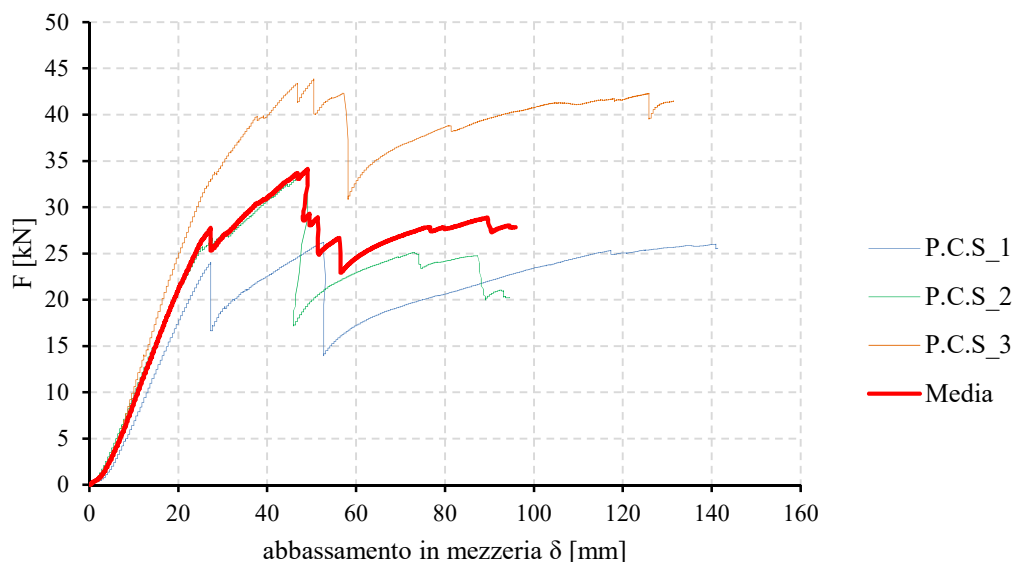


Fig. 5.301 Diagramma riepilogativo forza-abbassamento in mezzeria (provini del primo gruppo)

Si riporta, di seguito, la relativa tabella riepilogativa dei risultati ottenuti dalle prove sperimentali (Tab. 5.122).

Sotto-gruppo	Provino	carico F [kN]	abbassamento in mezzeria δ [mm]	taglio V [kN]	momento flettente M [kNm]	CONDIZIONE
H1	P.C.S._1	24,0	27,3	12,0	11,5	Prima fessurazione
		24,0	27,3	12,0	11,5	Elastica
		25,6	141,6	12,8	12,3	Ultima
	P.C.S._2	25,5	25,9	12,7	12,1	Prima fessurazione
		34,1	49,1	17,1	16,4	Elastica
		20,2	94,5	10,1	9,7	Ultima
	P.C.S._3	39,6	38,2	19,8	20,6	Prima fessurazione
		43,5	50,5	21,8	20,9	Elastica
		41,5	131,4	20,8	19,9	Ultima

Tab. 5.122 Tabella riepilogativa dei risultati

Risultati delle prove: secondo gruppo H2

Il secondo gruppo è costituito dai seguenti provini:

- provino P.C.S_4 ($l = 468$ cm);
- provino P.C.S_5 ($l = 468$ cm);
- provino P.C.S_6 ($l = 468$ cm).

Risultati provino P.C.S_4

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento relativo al potenziometro a filo in mezzeria (Fig. 5.302).

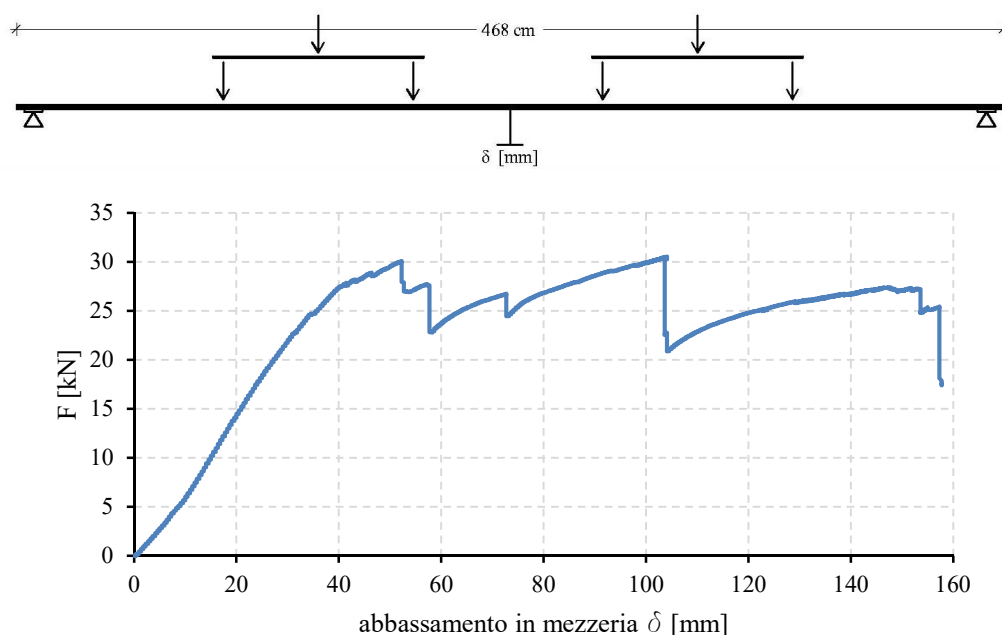


Fig. 5.302 Diagramma forza-abbassamento in mezzeria (provino P.C.S_4)

Dal grafico forza-abbassamento del provino in esame, si registra un tratto lineare fino all'attingimento della prima fessurazione in corrispondenza di una forza di 27,5 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 40,0 mm. Raggiunto questo valore di carico, la curva $F-\delta$ continua ad essere lineare fino ad una forza di 30,1 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 52,3 mm. In corrispondenza di questo carico si è riscontrata la prima rottura a taglio sia dei collegamenti lignei di estremità sia di quelli posti al centro. Da questo punto si verificano una serie di tratti lineari fino ad una forza di 30,3 kN con un corrispondente abbassamento pari a 103,6 mm. Raggiunto questo valore del carico si è registrato un abbattimento del carico fino ad una forza di 22,5 kN. Il provino, in questa fase, ha manifestato una rottura atipica del giunto a pettine della tavola inferiore. Questa rottura è di tipo fragile ed è dovuta molto probabilmente alla mancanza della colla presente tra i due giunti. La rottura ultima del provino è avvenuta sia per trazione, ed ha interessato la tavola inferiore, sia per taglio interessando i collegamenti lignei di estremità. Il valore di forza ultimo è di 17,6 kN con un

corrispondente abbassamento in mezzeria di 157,7 mm. Inoltre la soletta superiore in c.a. ha manifestato un comportamento elastico lineare finì alla fine della prova.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.123) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.303).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	07/03/2016
DIMENSIONI	4680x400x200 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Pannello Porepan con soletta collaborante
TIPO DI PROVA	Prova a flessione su 6 punti forza
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidità flessionale, della resistenza e della tipologia di rottura.
VELOCITA' DI PROVA	10 mm/min
DURATA DELLA PROVA	963 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F [kN]	abbassamento in mezzeria δ [mm]	CONDIZIONE
27,5	40,0	Prima fessurazione
30,1	52,3	Elastica
17,6	157,7	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dei collegamenti lignei di estremità; rottura per trazione dei collegamenti lignei centrali; rottura del giunto a pettine della tavola inferiore;
rottura ultima a trazione per flessione della tavola inferiore

Tab. 5.123 Scheda riepilogativa provino P.C.S_4



Fig. 5.303 Foto provino P.C.S._4

Risultati provino P.C.S_5

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento relativo al potenziometro a filo in mezzeria (Fig. 5.304).

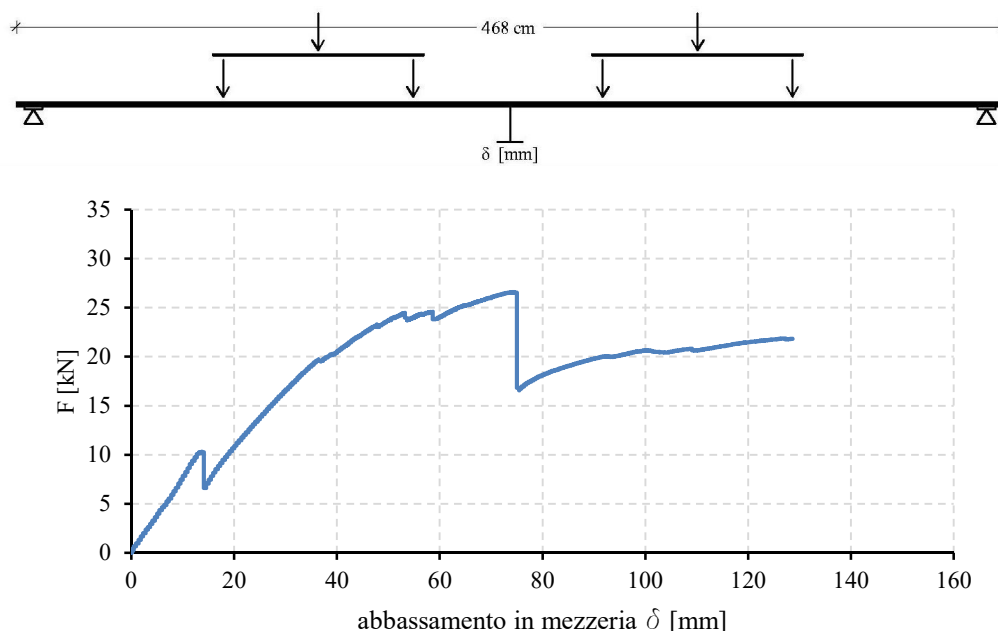


Fig. 5.304 Diagramma forza-abbassamento in mezzeria (provino P.C.S_5)

Dal grafico forza-abbassamento del provino in esame, si registra un tratto lineare fino all'attingimento della prima fessurazione in corrispondenza di una forza di 10,4 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 13,6 mm. In corrispondenza di questo carico si è riscontrata la prima rottura a taglio sia dei collegamenti lignei di estremità sia di quelli posti al centro con un conseguente abbattimento del carico fino ad un valore di forza di 6,6 kN.

Raggiunto questo valore di carico, la curva $F-\delta$ continua ad essere lineare fino ad una forza di 26,6 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 74,5 mm. Il provino, in questa fase, ha manifestato una rottura atipica del giunto a pettine della tavola inferiore. Questa rottura è di tipo fragile ed è dovuta molto probabilmente alla mancanza della colla presente tra i due giunti. La rottura ultima del provino è avvenuta sia per trazione, interessando i collegamenti lignei centrali, sia per taglio interessando i collegamenti lignei di estremità. Il valore di forza ultimo è di 21,8 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 128,6 mm. Inoltre la soletta superiore in c.a. ha manifestato un comportamento elastico lineare fino alla fine della prova.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.124) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.305).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	07/03/2016
DIMENSIONI	4680x400x200 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Pannello Porepan con soletta collaborante
TIPO DI PROVA	Prova a flessione su 6 punti forza
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidezza flessionale, della resistenza e della tipologia di rottura.
VELOCITA' DI PROVA	10 mm/min
DURATA DELLA PROVA	783 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F [kN]	abbassamento in mezzeria δ [mm]	CONDIZIONE
10,4	13,6	Prima fessurazione
10,4	13,6	Elastica
21,8	128,6	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dei collegamenti lignei di estremità; rottura per trazione dei collegamenti lignei centrali; rottura del giunto a pettine della tavola inferiore

Tab. 5.124 Scheda riepilogativa provino P.C.S_5



Fig. 5.305 Foto provino P.C.S_5

Risultati provino P.C.S_6

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento relativo al potenziometro a filo in mezzeria (Fig. 5.306).

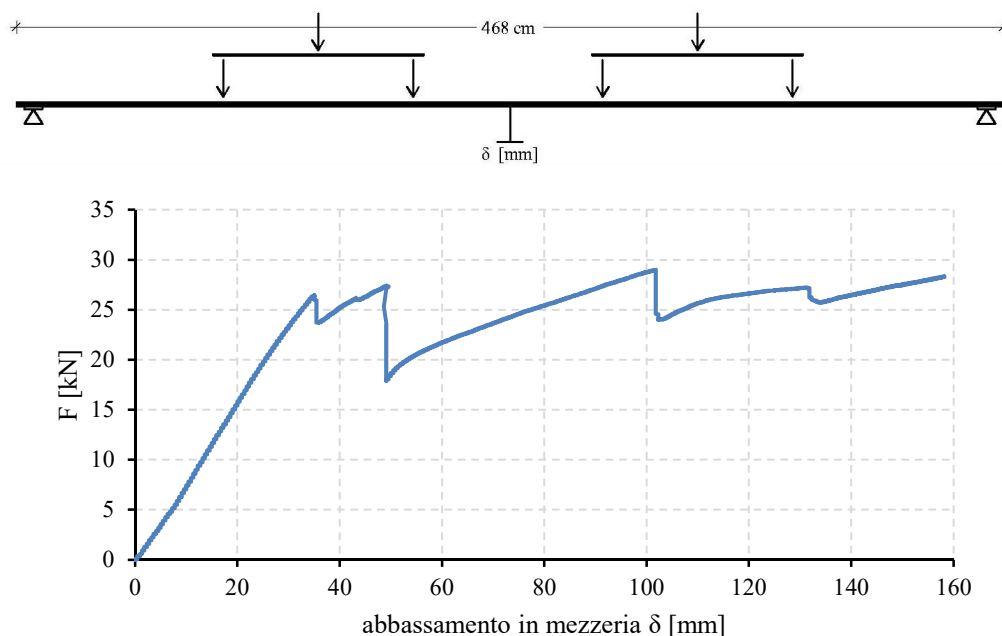


Fig. 5.306 Diagramma forza-abbassamento in mezzeria (provino P.C.S_6)

Dal grafico forza-abbassamento del provino in esame, si registra un tratto lineare fino all'attingimento della prima fessurazione in corrispondenza di una forza di 26,4 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 35,0 mm. In corrispondenza di questo carico si è riscontrata la prima rottura a taglio dei collegamenti lignei di estremità con un conseguente abbattimento del carico fino ad una forza di 23,7 kN. Da questo punto si verificano una serie di tratti lineari ad un valore di forza pari a 29,0 kN con un corrispondente abbassamento pari a 101,8 mm. La rottura ultima del provino è avvenuta sia per trazione, interessando i collegamenti lignei centrali, sia per taglio interessando i collegamenti lignei di estremità. Il valore di forza ultimo è di 28,3 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 158,2 mm. Inoltre la soletta superiore in c.a. ha manifestato un comportamento elastico lineare fino alla fine della prova.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.125) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.307).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	07/03/2016
DIMENSIONI	4680x400x200 mm
TIPOLOGIA DEL PROVINO	Pannello Porepan con soletta collaborante
TIPO DI PROVA	Prova a flessione su 6 punti forza
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidezza flessionale, della resistenza e della tipologia di rottura.
VELOCITA' DI PROVA	10 mm/min
DURATA DELLA PROVA	964 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

carico F [kN]	abbassamento in mezzeria δ [mm]	CONDIZIONE
26,4	35,0	Prima fessurazione
26,4	35,0	Elastica
28,3	158,2	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dei collegamenti lignei di estremità;
rottura per trazione dei collegamenti lignei centrali;

Tab. 5.125 Scheda riepilogativa provino P.C.S_6



Fig. 5.307 Foto provino P.C.S_6

Riepilogo dei risultati del secondo gruppo H2

Si riporta, di seguito, il grafico riepilogativo forza-abbassamento relativo al potenziometro a filo in mezzeria contenente la media dei provini testati (Fig. 5.308).

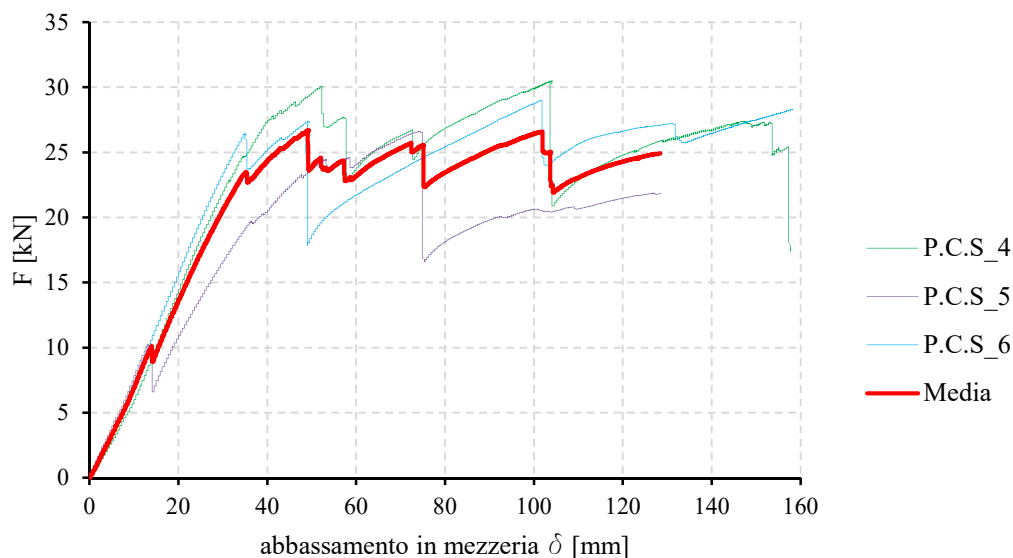


Fig. 5.308 Diagramma riepilogativo forza-abbassamento in mezzeria (provini del secondo gruppo)

Si riporta, di seguito, la relativa tabella riepilogativa dei risultati ottenuti dalle prove sperimentali (Tab. 5.126).

Sotto-gruppo	Provino	carico F [kN]	abbassamento in mezzeria δ [mm]	taglio V [kN]	momento flettente M [kNm]	CONDIZIONE
H2	P.C.S_4	27,5	40,0	13,8	18,6	Prima fessurazione
		30,1	52,3	15,1	20,4	Elastica
		17,6	157,7	8,8	11,9	Ultima
	P.C.S_5	10,4	13,6	5,2	7,0	Prima fessurazione
		10,4	13,6	5,2	7,0	Elastica
		21,8	128,6	10,9	14,7	Ultima
	P.C.S_6	26,4	35,0	13,2	17,8	Prima fessurazione
		26,4	35,0	13,2	17,8	Elastica
		28,3	158,2	14,2	19,2	Ultima

Tab. 5.126 Tabella riepilogativa dei risultati

5.11 Prove a flessione su pannelli lignei (GRUPPI Q e R)

La campagna di prove sperimentali è stata organizzata su due set di provini, entrambi prodotti dalla G.R.Sistemi. Si tratta di pannelli in legno massiccio, i primi dalle dimensioni di 14,5x16x306 cm (prove effettuate presso il laboratorio della G.R. Sistemi) ed i secondi dalle dimensioni di 22x16x200 (prove effettuate presso il DI.ST.). Su tutti i provini si sono effettuate prove a flessione su 4 punti forza in controllo di spostamento (con velocità di prova di 10 mm/min). Inoltre per il secondo set di provini già sono a nostra disposizione le prove di caratterizzazione meccanica del materiale di base (effettuate in un precedente lavoro di tesi). Di seguito vengono riportate i set-up di prove ed i risultati ottenuti dalle stesse.

Prove sperimentali su pannelli lignei (GRUPPO Q)

Le prime prove effettuate sono state eseguite con prove di flessione “a 4 punti forza” su pannelli Porepan di dimensioni 14,5x16x306 cm al fine di determinare le principali caratteristiche meccaniche (modulo elastico, resistenza a flessione).

Le prove a flessione sono state effettuate in accordo a quanto stabilito dalla norma UNI-EN408:2004.

L’ apparecchio di prova utilizzato è la macchina per prove a flessione della METROCOM di proprietà DELLA G.R. Sistemi già descritta nel capitolo 4 (“Descrizione delle macchine di prova”). I provini testati sono pannelli Porepan delle dimensioni di 3060x145x160 (LxBxS). Essendo legno strutturale, sono presenti i difetti quali nodi, deviazione della fibratura, fratture interne che influenzano, a seconda della loro posizione, il risultato della prova e, quindi, i valori delle caratteristiche meccaniche.

Set-up di prova

Per ottenere dei buoni risultati di prova, si è fatta particolare attenzione sia al posizionamento del provino sotto la macchina, sia nel predisporre tutti gli strumenti di misura necessari all’acquisizione dei dati. Per eliminare qualsiasi eccentricità nell’applicazione al carico, il provino deve essere centrato rispetto all’attuatore e rispetto, quindi, al banco di prova. Dunque avendo già segnato su di esso le linee di mezzeria in entrambe le direzioni, è stato poggiato sugli appoggi, facendo coincidere le linee tracciate sul provino e sull’ appoggio.

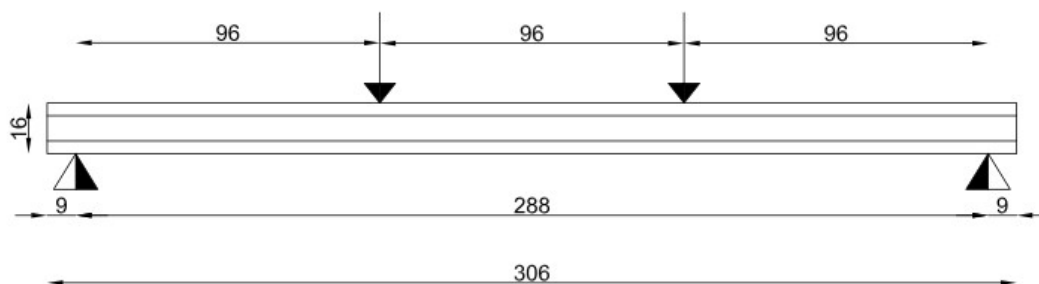


Fig. 5.309 Configurazione di prova (misure in centimetri)

Il programma di prove ha previsto l'esecuzione di *n.18 di prove a flessione* su quattro punti forza su provini di legno di Abete Rosso scandinavo (C30) di dimensioni 3060x145x160 mm ai fini della determinazione del modulo elastico e della resistenza a flessione del sezione composta.

Suddivisione dei provini in gruppi

I provini sono stati suddivisi in 6 gruppi da tre.

- **Il primo gruppo** è formato da provini con due tavole di spessore 40 mm con interposto isolante di 80 mm con quattro collegamenti lignei puntuali. Le tavole sono tenute insieme all'isolante grazie ad una colla con grammatura di 180 g/m² ed una pressione di incollaggio di 4 kg/cm².
- **Il secondo gruppo** è formato da provini con due tavole di spessore 40 mm con tre collegamenti lignei puntuali. Le tavole sono incollate ai collegamenti lignei da una colla con grammatura di 180 g/m² ed una pressione di incollaggio di 4 kg/cm².
- **Il terzo gruppo** è formato da provini con due tavole di spessore 40 mm con interposto isolante di 80 mm interrotto da due collegamenti lignei. Le tavole sono tenute insieme all'isolante grazie ad una colla con grammatura di 180 g/m² ed una pressione di incollaggio di 4 kg/cm².
- **Il quarto gruppo** è formato da provini con due tavole di spessore 40 mm con interposto isolante di 80 mm. Le tavole sono tenute insieme all'isolante grazie ad una colla con grammatura di 180 g/m² ed una pressione di incollaggio di 4 kg/cm².
- **Il quinto gruppo** è formato da provini con due tavole di spessore 40 mm con interposto isolante di 80 mm ed un collegamento ligneo. Le tavole sono tenute insieme all'isolante grazie ad una colla con grammatura di 180 g/m² ed una pressione di incollaggio di 4 kg/cm².
- **Il sesto gruppo** è formato da provini da travi lamellari formata da quattro tavole di spessore 40 mm tenute insieme grazie ad una colla con grammatura di 150 g/m² ed una pressione di incollaggio di 8,4 kg/cm².

provino	tipo	Lunghezza	Altezza	Spessore	Grammatura	P _{incollaggio}	v
-	-	cm	cm	cm	g/m ²	kg/cm ²	mm/minuto
P1F	4 PEZZOTTI CON EPS	306	16	14,5	180	4	8
P2F		306	16	14,5	180	4	8
P3F		306	16	14,5	180	4	10
P4F	3 PEZZOTTI SENZA EPS	306	16	14,5	180	4	8
P5F		306	16	14,5	180	4	8
P6F		306	16	14,5	180	4	8
P7F	2 PEZZOTTI CON EPS	306	16	14,5	180	4	8
P8F		306	16	14,5	180	4	8
P9F		306	16	14,5	180	4	8
P10F	SOLO EPS	306	16	14,5	180	4	8
P11F		306	16	14,5	180	4	8
P12F		306	16	14,5	180	4	8
P13F	1 PEZZOTTO CON EPS	322	16	14,5	180	4	8
P14F		322	16	14,5	180	4	8
P15F		322	16	14,5	180	4	8
P16F	TRAVI LAMELLARI	306	16	14,5	150	8,4	8
P17F		306	16	14,5	150	8,4	10
P18F		306	16	14,5	150	8,4	8

Tab. 5.127 Riepilogo dei provini

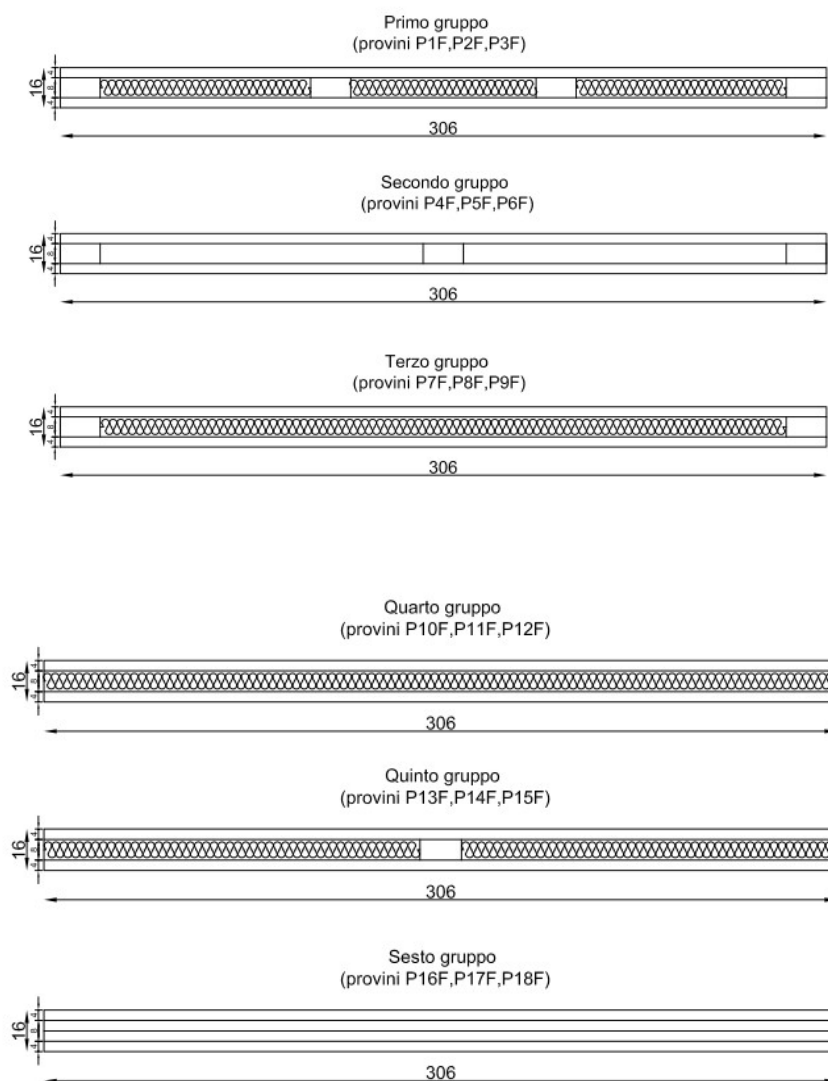


Fig. 5.310 Schema dei provini analizzati



Fig. 5.311 Foto dei provini

Risultati primo gruppo



Fig. 5.312 Schema provino primo gruppo

PROVINO P1F

Il **provino P1F** presenta sulla faccia superiore quattro nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri due molto più grandi e allungati. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria. Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 10 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 23 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 10 kN a cui corrisponde un abbassamento di 23 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 13,70 kN ed un abbassamento ultimo di 37,73 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e il collegamento ligneo di destra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 10 mm. La rottura che si registra è a taglio per il collegamento ligneo di destra ed a trazione per la tavola inferiore. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

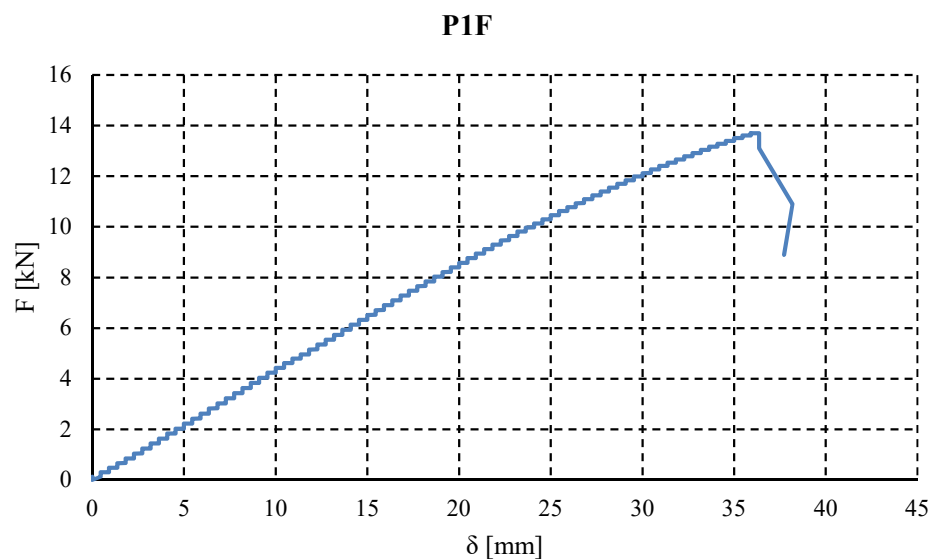


Fig. 5.313 Grafico F- δ provino P1F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/07/2013	
DIMENSIONI PROVINO	3060X145X160 mm	
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo ed eps	
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 4	
	FACCIA INF : 2	
	ESTREMO DX : lesione	
	ESTREMO SX : /	
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)	
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)	
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto	
COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)		
FORZA [Kn]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
10	23	ELASTICA
13,70	37,73	ULTIMA
COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)		
SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA
0	0	10
TIPOLOGIA DI ROTTURA		
Rottura a taglio del collegamento ligneo di destra e della tavola inferiore		

Tab. 5.128 Scheda riepilogativa provino p1f



Fig. 5.313 Foto Provino P1F

PROVINO P2F

Il **provino P2F** presenta sulla faccia superiore 3 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri 3 molto più grandi. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 10 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 25 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 10 kN a cui corrisponde un abbassamento di 25 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 13,25 kN ed un abbassamento ultimo di 35,91 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e il tozzetto di legno di sinistra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 15 mm. La rottura che si registra è a taglio per il collegamento ligneo di sinistra ed a trazione per la tavola superiore. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

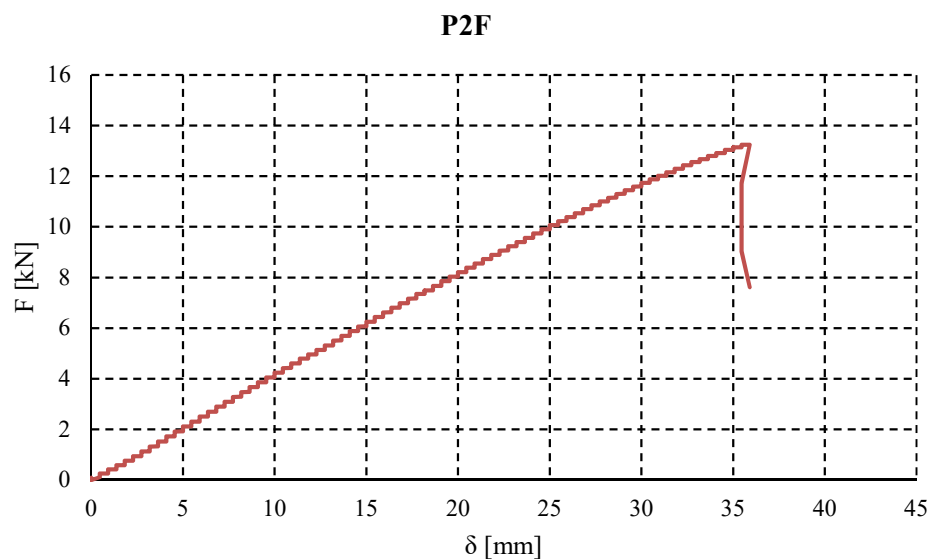


Fig. 5.314 Grafico F- δ provino P2F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/07/2013
DIMENSIONI PROVINO	3060X145X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo ed eps
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 3
	FACCIA INF : 3
	ESTREMO DX : /
	ESTREMO SX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)		
FORZA [Kn]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
10	25	ELASTICA
13,25	35,91	ULTIMA
COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)		
SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA
15	0	
TIPOLOGIA DI ROTTURA		
Rottura a taglio della colla del collegamento ligneo di sinistra e della tavola superiore		

Tab. 5.129 SCHEDA RIEPILOGATIVA Provino P2F



Fig. 5.315 Foto Provino P2F

PROVINO P3F

Il **provino P3F** presenta sulla faccia superiore 5 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri 6 molto più grandi e allungati. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 10 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 23 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 10 kN a cui corrisponde un abbassamento di 23 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 14,33 kN ed un abbassamento ultimo di 37,7 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e il collegamento ligneo di destra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 15 mm. La rottura che si registra è a taglio per il collegamento ligneo di destra ed a trazione per la tavola superiore. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

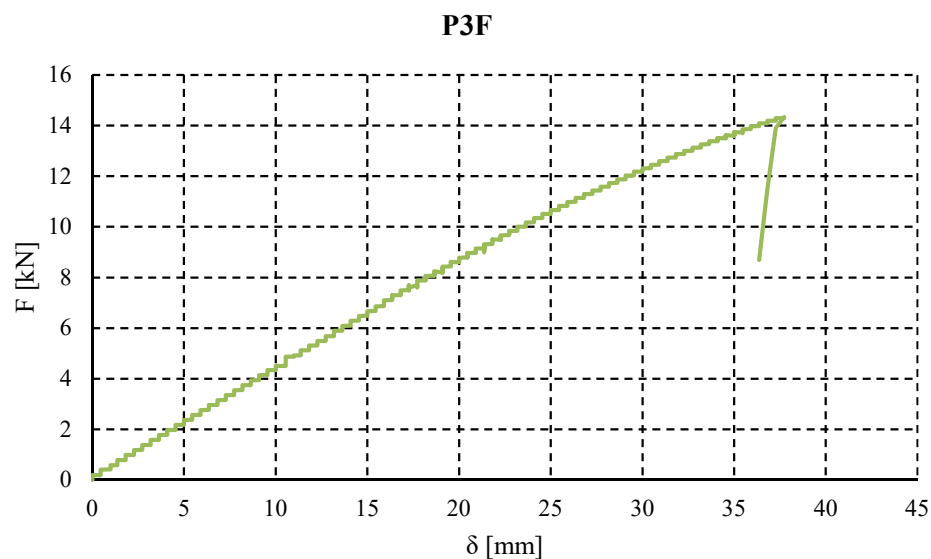


Fig. 5.316 Grafico F- δ provino P3F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	13/06/2013	
DIMENSIONI PROVINO	3060X145X160 mm	
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo ed eps	
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP :	
	FACCIA INF :	
	ESTREMO DX :	
	ESTREMO SX :	
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)	
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)	
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto	
COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)		
FORZA [Kn]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
10	23	ELASTICA
14,33	37,7	ULTIMA
COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)		
SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA
0	0	15
TIPOLOGIA DI ROTTURA		
Rottura a taglio del collegamento ligneo di destra e della tavola superiore		

Tab. 5.130 Scheda riepilogativa Provino P3F

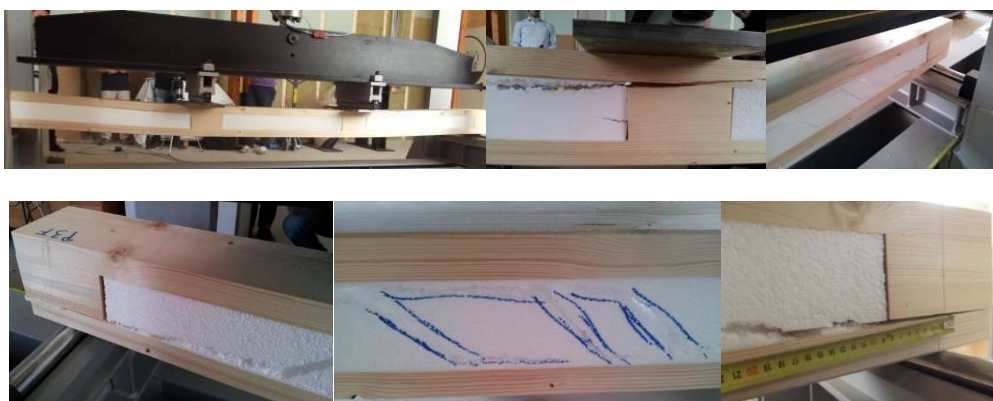


Fig. 5.317 Foto Provino P3F

Riepilogo dei provini del primo gruppo

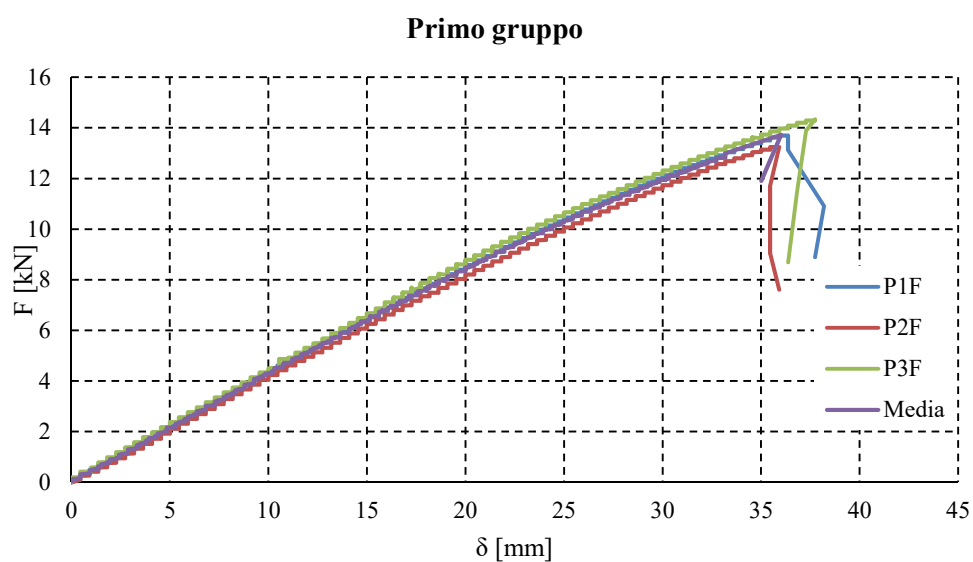


Fig. 5.318 Grafico F- δ provino P1F, P2F, P3F e media

Provino	F_u [kN]	δ_u [mm]
P1F	13,70	37,73
P2F	13,25	35,91
P3f	14,33	37,7
Media	13,76	37,11

Tab. 5.131 Tabella riepilogativa gruppo primo

2.4.2 Risultati secondo gruppo

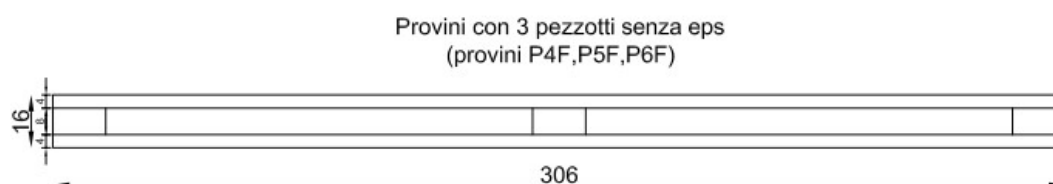


Fig. 5.319 Schema provino secondo gruppo

PROVINO P4F

Il **provino P4F** presenta sulla faccia superiore 5 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri 6 molto più grandi e allungati che, trovandosi vicini, interessano la tavola per tutta la lunghezza minore. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 5,5 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 42 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 5,5 kN a cui corrisponde un abbassamento di 42 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 6,31 kN ed un abbassamento ultimo di 50,91 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e il tozzetto di legno di sinistra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 10 mm. La rottura che si registra è a taglio per il collegamento0 ligneo di sinistra. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

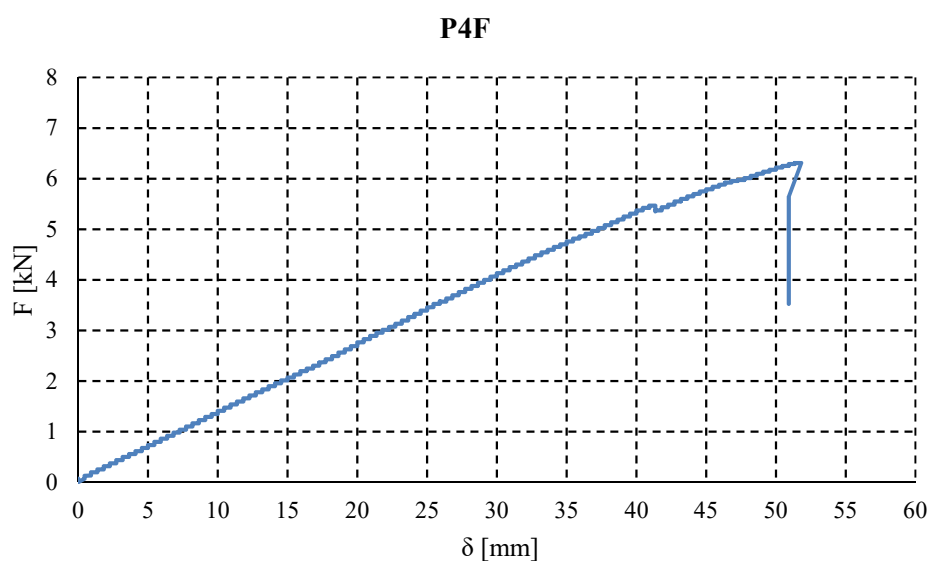


Fig. 5.320 Grafico F- δ provino P4F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/07/2013
DIMENSIONI PROVINO	3060X145X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 5
	FACCIA INF : 6
	ESTREMO DX : /
TIPO DI PROVA	ESTREMO SX : /
	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)		
FORZA [kN]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
5,5	42	ELASTICA
6,31	50,91	ULTIMA
COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)		
SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA
10	0	0

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio del collegamento ligneo di sinistra

Tab. 5.132 Scheda riepilogativa provino p4f





Fig. 5.321 Foto provino P4f

PROVINO P5F

Il **provino P5F** presenta sulla faccia superiore 7 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri 6 molto più grandi e allungati. Il taglio della tavola è avvenuta “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Inoltre, ad un estremo, sempre sullo spessore, è presente una lesione. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 4,5 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 31 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 4,5 kN a cui corrisponde un abbassamento di 31 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 6,72 kN ed un abbassamento ultimo di 55,91 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e il tozzetto di legno di sinistra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 20 mm. La rottura che si registra è a taglio per il collegamento ligne di sinistra e centrale. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

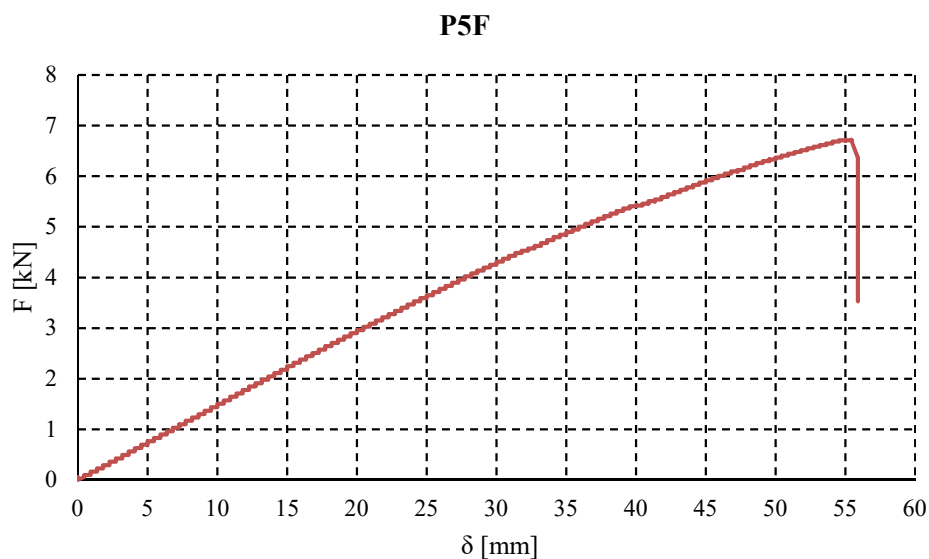


Fig. 5.322 Grafico F- δ provino P5F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/07/2013		
DIMENSIONI PROVINO	3060X145X160 mm		
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo		
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 7		
	FACCIA INF : 6		
	ESTREMO DX : lesione		
	ESTREMO SX : /		
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)		
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)		
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto		
COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)			
FORZA [kN]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE	
4,5	31	ELASTICA	
6,72	55,91	ULTIMA	
COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)			
SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA	
20	10	0	
TIPOLOGIA DI ROTTURA			
Rottura a taglio del collegamento ligneo di sinistra ed a centro			

Tab. 5.133 Scheda riepilogativa provino P5f

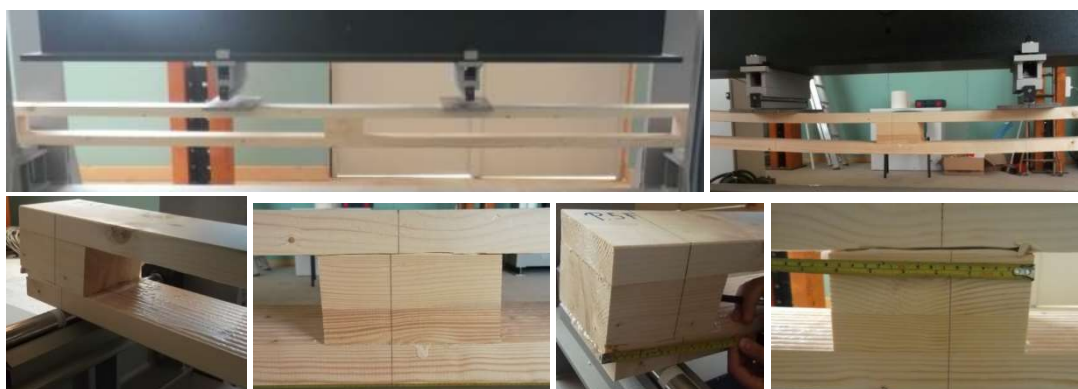


Fig. 5.323 Foto Provino P5F

PROVINO P6F

Il **provino P6F** presenta sulla faccia superiore 5 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri 8 di modeste dimensioni. Il taglio della tavola è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Inoltre, ad un estremo, sempre sullo spessore, è presente una lesione. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 5 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 32 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 5 kN a cui corrisponde un abbassamento di 32 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 6,34 kN ed un abbassamento ultimo di 43,18 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e il tozzetto di legno di destra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 17 mm. La rottura che si registra è a taglio per il collegamento ligneo di destra. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

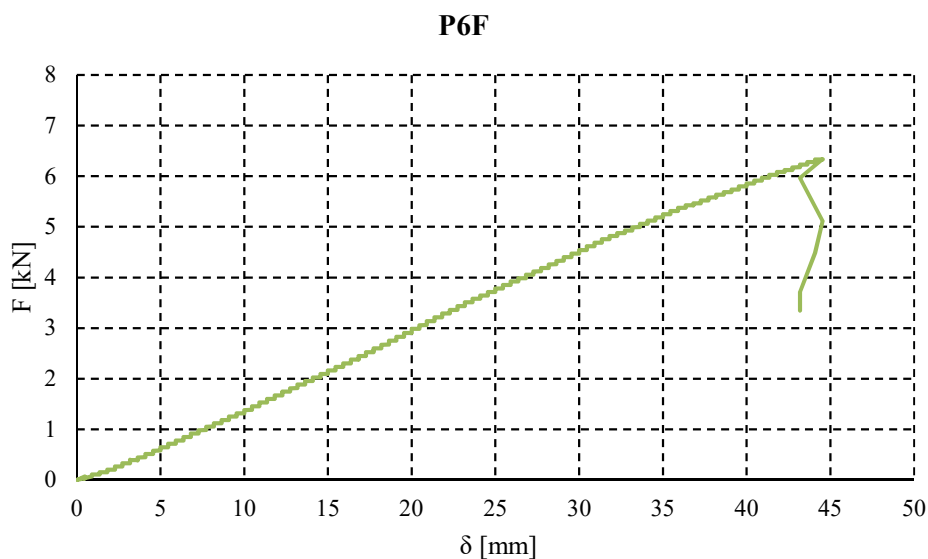


Fig. 5.324 Grafico F- δ provino P6F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/07/2013
DIMENSIONI PROVINO	3060x145x160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo
	FACCIA SUP : 5
	FACCIA INF : 8
DIFETTI RILEVATI	ESTREMO DX : /
	ESTREMO SX : lesione
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)		
FORZA [kN]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
5	32	ELASTICA
6,34	43,18	ULTIMA
COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)		
SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA
0	0	17
TIPOLOGIA DI ROTTURA		
Rottura a taglio del collegamento ligneo di destra		

Tab. 5.134 Scheda riepilogativa provino P6f



Fig. 5.325 Foto Provino P6F

Riepilogo dei provini del secondo gruppo

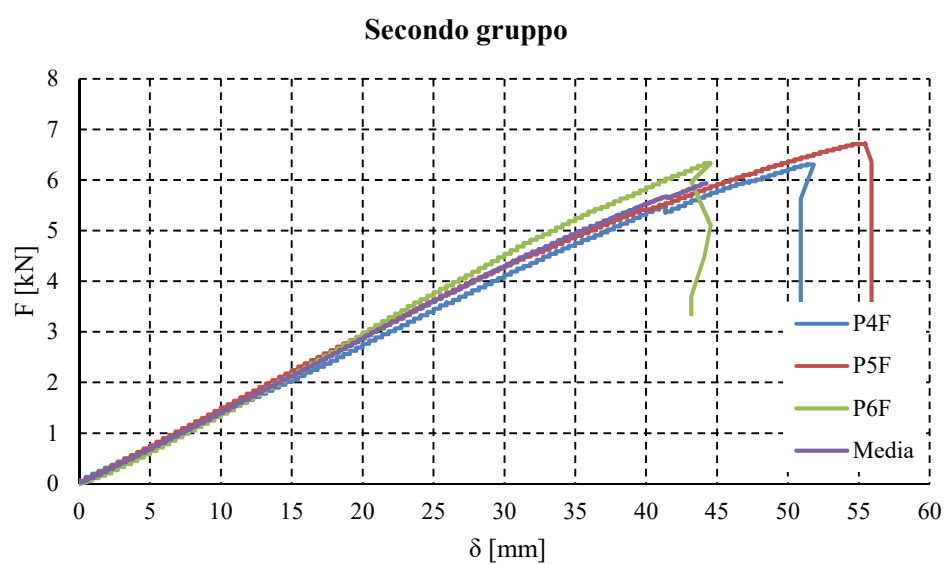


Fig. 5.326 Grafico F- δ provino P4F, P5F, P6F e media

Provino	Fu [kN]	δ_u [mm]
P4F	6,31	50,91
P5F	6,72	55,91
P6f	6,34	43,18
Media	6,45	50

Tab. 5.135 Riepilogo secondo gruppo

2.4.3 Risultati terzo gruppo

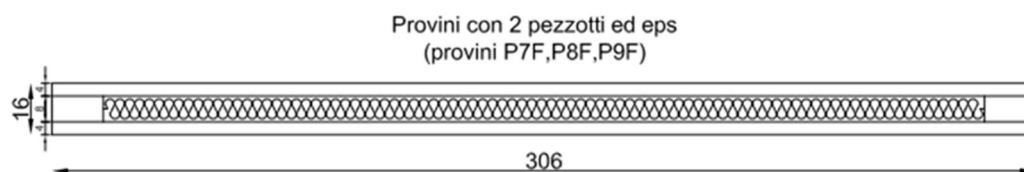


Fig. 5.327 Schema provino terzo gruppo

PROVINO P7F

Il **provino P7F** presenta sulla faccia superiore 6 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri 5 molto più grandi e allungati che, trovandosi vicini, interessano la tavola per tutta la lunghezza minore. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Inoltre, ad un estremo, sempre sullo spessore, è presente una lesione. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 7 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 18 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 7 kN a cui corrisponde un abbassamento di 18 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 11,95 kN ed un abbassamento ultimo di 42,27 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e il collegamento ligneo di sinistra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 15 mm. La rottura che si registra è a taglio per il collegamento ligneo di sinistra. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

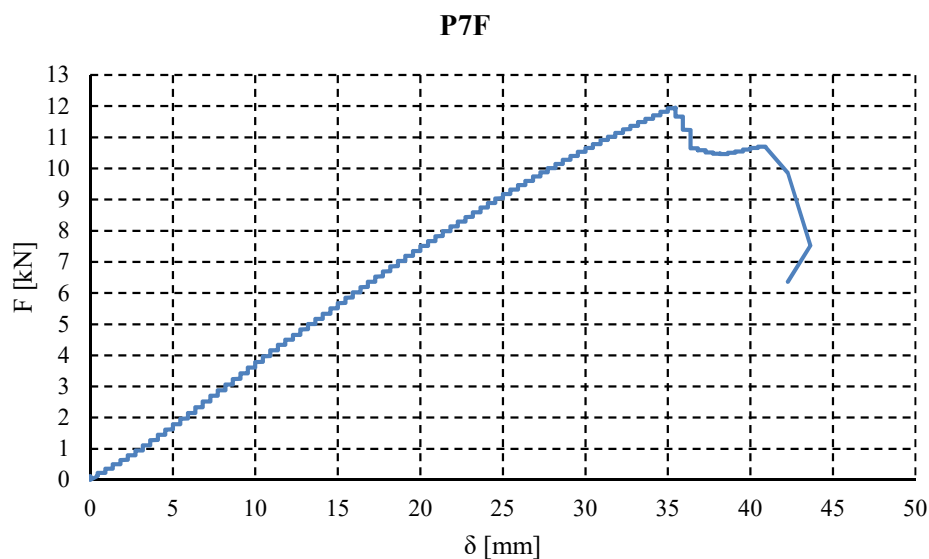


Fig. 5.328 Grafico F- δ provino P7F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/07/2013		
DIMENSIONI PROVINO	3060X145X160 mm		
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo ed eps		
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 6		
	FACCIA INF : 5		
	ESTREMO DX : lesione		
	ESTREMO SX : /		
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)		
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)		
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto		
COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)			
FORZA [kN]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE	
7	18	ELASTICA	
11,95	42,27	ULTIMA	
COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)			
SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA	
15	0	0	
TIPOLOGIA DI ROTTURA			
Rottura a taglio del collegamento ligneo di sinistra			

Tab. 5.136 Scheda riepilogativa provino P7f

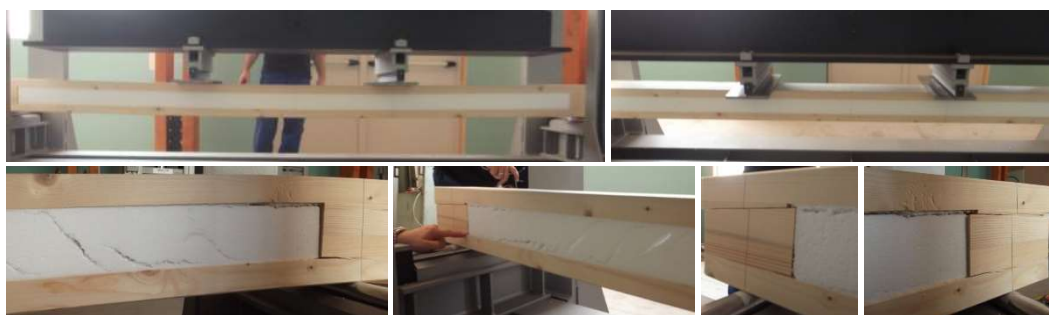


Fig. 5.329 Foto Provino P7F

PROVINO P8F

Il **provino P8F** presenta sulla faccia superiore 4 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri 7 molto più grandi. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 7 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 20 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 7 kN a cui corrisponde un abbassamento di 20 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 10,40 kN ed un abbassamento ultimo di 31,82 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e il collegamento ligneo di destra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 10 mm. La rottura che si registra è a taglio per il collegamento ligneo di destra. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

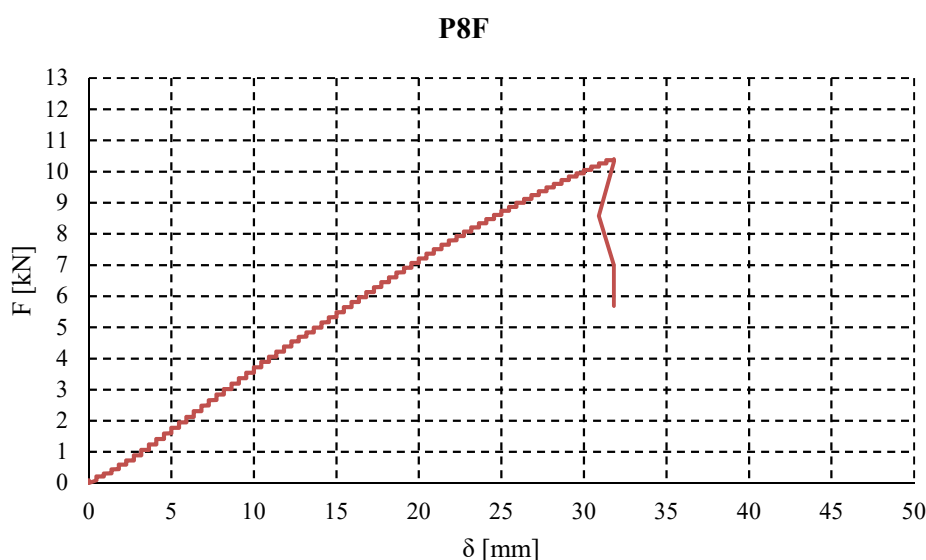


Fig. 5.340 Grafico F- δ provino P8F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/07/2013
DIMENSIONI PROVINO	3060X145X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo ed eps
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 4
	FACCIA INF : 7
	ESTREMO DX : /
	ESTREMO SX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto
COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)	
FORZA [kN]	ABBASSAMENTO w[mm]
7	20
10,40	31,82
COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)	
SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA
0	0
TIPOLOGIA DI ROTTURA	
Rottura a taglio del collegamento ligneo di destra	
CONDIZIONE	
ELASTICA	
ULTIMA	
SCORRIMENTO DESTRA	
10	

Tab. 5.137 Scheda riepilogativa provino P8f



Fig. 5.341 Foto Provino P8F

PROVINO P9F

Il **provino P9F** presenta sulla faccia superiore 6 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri 6 molto più grandi e allungati. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all'attingimento del valore di forza di 7 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 21 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 7 kN a cui corrisponde un abbassamento di 21 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 11,85 kN ed un abbassamento ultimo di 46,82 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e il collegamento ligneo di sinistra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 10 mm. La rottura che si registra è a taglio per il collegamento ligneo di sinistra. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

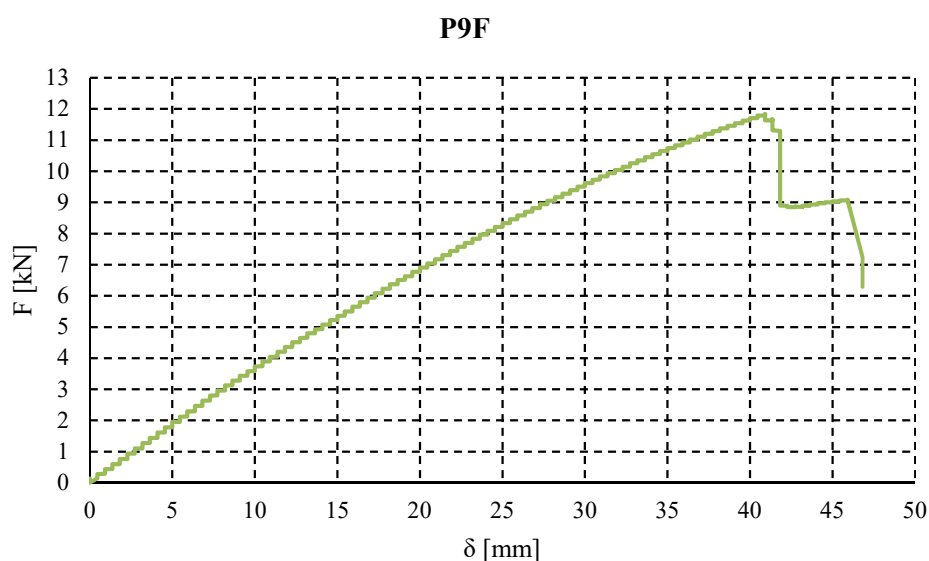


Fig. 5.342 Grafico F- δ provino P9F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/07/2013
DIMENSIONI PROVINO	3060X145X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo ed eps
	FACCIA SUP : 6
	FACCIA INF : 6
DIFETTI RILEVATI	ESTREMO DX : /
	ESTREMO SX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)		
FORZA [kN]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
7	21	ELASTICA
11,85	46,82	ULTIMA
COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)		
SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA
10	0	0
TIPOLOGIA DI ROTTURA		
Rottura a taglio del collegamento ligneo di sinistra		

Tab. 5.138 Scheda riepilogativa provino P9f



Fig. 5.343 Foto Provino P9F

Riepilogo dei provini del terzo gruppo

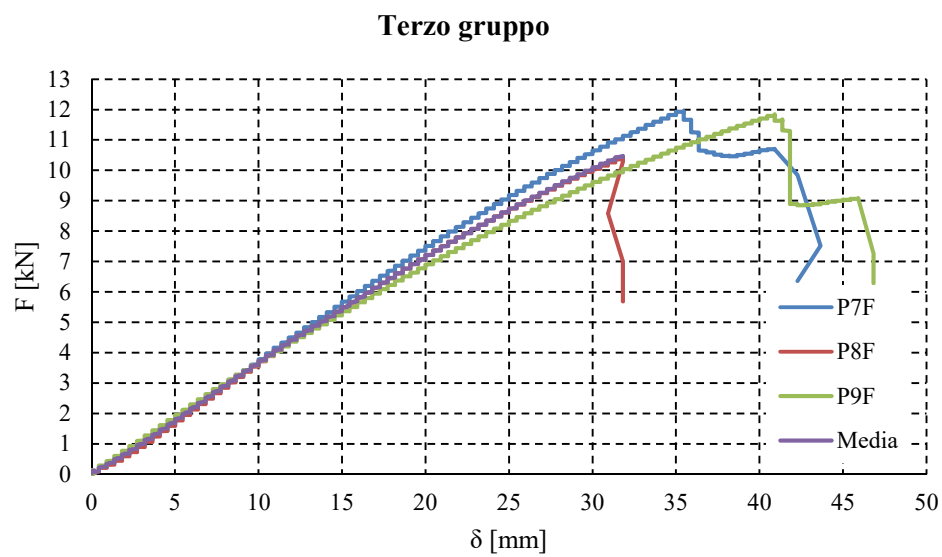


Fig. 5.344 Grafico F- δ provino P7F, P8F, P9F e media

Provino	Fu [kN]	δ_u [mm]
P7F	11,95	42,27
P8F	10,40	31,82
P9f	11,85	46,82
Media	11,4	40,30

Tab. 5.139 Riepilogo terzo gruppo

2.4.4 Risultati quarto gruppo



Fig. 5.345 Schema provino quarto gruppo

PROVINO P10F

Il **provino P10F** presenta sulla faccia superiore 4 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri 6 molto più grandi e allungati che, trovandosi vicini, interessano la tavola per tutta la lunghezza minore. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Inoltre, ad un estremo, sempre sullo spessore, è presente una lesione. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 3 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 12 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 3 kN a cui corrisponde un abbassamento di 12 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 7,72 kN ed un abbassamento di 49 mm. Dopo questa fase si è registrato una brusca riduzione della forza dovuta alla rottura a taglio dell’EPS. Dopo una iniziale fase di assestamento si è registrato un aumento della forza fino ad un valore ultimo di 6,8 kN ed un abbassamento ultimo di 149,1 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e l’EPS della parte sinistra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 30 mm. La rottura che si registra è a trazione per la tavola inferiore. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

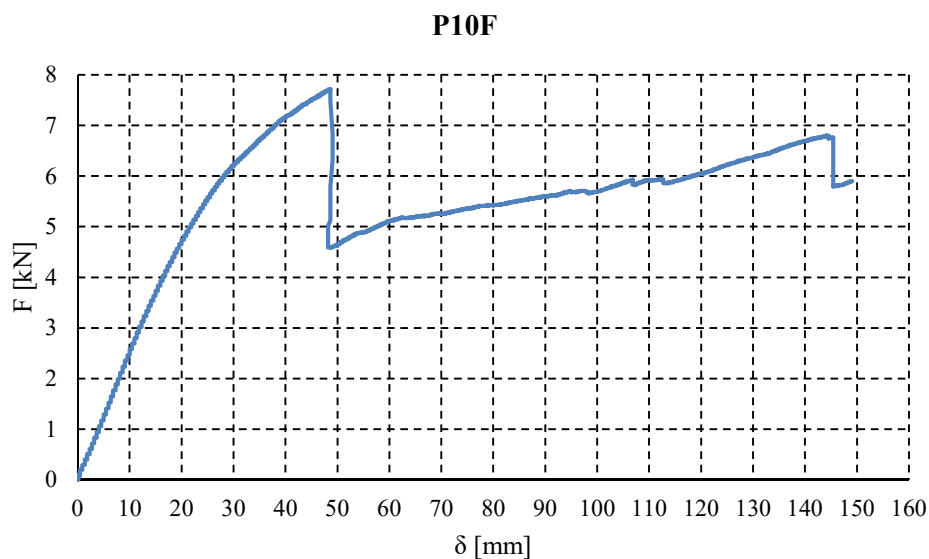


Fig. 5.346 Grafico F- δ provino P10F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/07/2013		
DIMENSIONI PROVINO	3060X145X160 mm		
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo ed eps		
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 4		
	FACCIA INF : 6		
	ESTREMO DX : lesione		
	ESTREMO SX : /		
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)		
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)		
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto		
COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)			
FORZA [kN]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE	
3	12	ELASTICA	
7,72	149,09	ULTIMA	
COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)			
SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA	
30	0	0	
TIPOLOGIA DI ROTTURA			
Rottura a trazione della tavola inferiore			

Tab. 5.140 Scheda riepilogativa provino P10f



Fig. 5.347 Foto provino P10f

PROVINO P11F

Il **provino P11F** presenta sulla faccia superiore 5 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri 7 molto più grandi. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 3 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 15 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 3 kN a cui corrisponde un abbassamento di 15 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 6,80 kN ed un abbassamento di 42 mm. Dopo questa fase si è registrato una brusca riduzione della forza dovuta alla rottura a taglio dell’EPS. Dopo una iniziale fase di assestamento si è registrato un aumento della forza fino ad un valore ultimo di 7,42 kN ed un abbassamento ultimo di 153,64 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e l’EPS della parte destra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 45 mm. La rottura non è possibile definirla in quanto il potenziometro a filo è arrivato a fine corsa. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

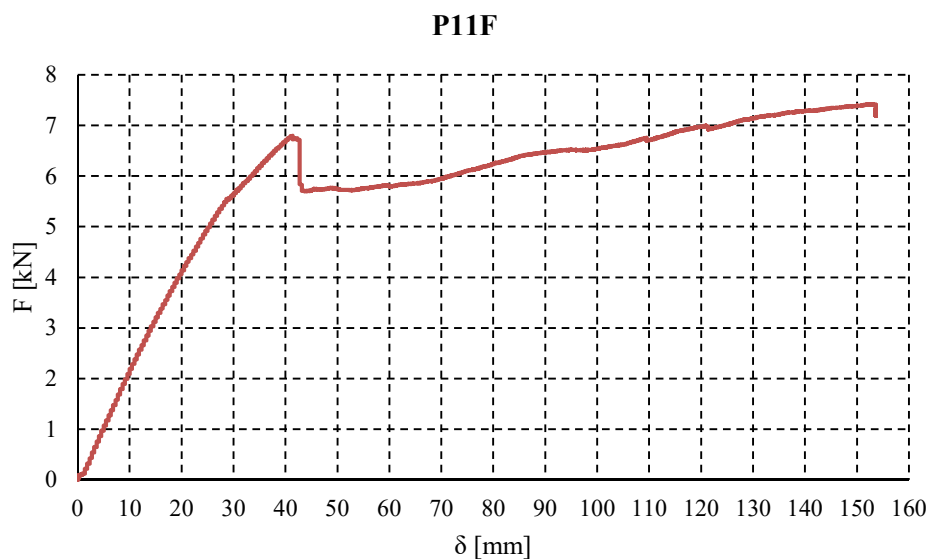


Fig. 5.348 Grafico F- δ provino P11F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/07/2013		
DIMENSIONI PROVINO	3060X145X160 mm		
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo ed eps		
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 5		
	FACCIA INF : 7		
	ESTREMO DX : /		
	ESTREMO SX : /		
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)		
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)		
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto		
COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)			
FORZA [kN]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE	
3	15	ELASTICA	
7,42	153,64 (fine corsa)	ULTIMA	
COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)			
SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA	
0	15	45	
TIPOLOGIA DI ROTTURA			
Non definibile il provino è arrivato a fine corsa			

Tab. 5.141 Scheda riepilogativa provino P11f



Fig. 5.349 Foto Provino P11F

PROVINO P12F

Il **provino P12F** presenta sulla faccia superiore 4 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri 7 nodi. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 3 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 18 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 3 kN a cui corrisponde un abbassamento di 18 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 7,5 kN ed un abbassamento di 58 mm. Dopo questa fase si è registrato una leggera riduzione della forza dovuta alla rottura a taglio dell’EPS. Dopo una iniziale fase di assestamento si è registrato un aumento della forza fino ad un valore ultimo di 7,85 kN ed un abbassamento ultimo di 135 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e l’EPS della parte sinistra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 47 mm. La rottura è avvenuta per trazione della tavola inferiore. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

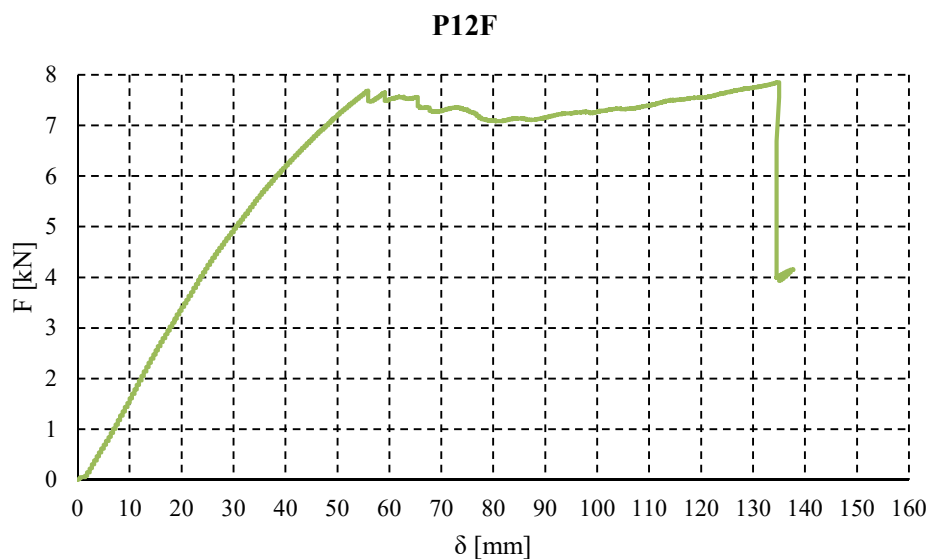


Fig. 5.350 Grafico F- δ provino P12F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/07/2013	
DIMENSIONI PROVINO	3060X145X160 mm	
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo ed eps	
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 4	
	FACCIA INF : 7	
	ESTREMO DX : /	
	ESTREMO SX : /	
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)	
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)	
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto	
COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)		
FORZA [kN]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
3	18	ELASTICA
7,85	135	ULTIMA
COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)		
SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA
47	15	0
TIPOLOGIA DI ROTTURA		
Rottura a trazione tavola inferiore		

Tab. 5.142 Scheda riepilogativa provino P12f



Fig. 5.351 Foto provino P12f

Riepilogo dei provini del quarto gruppo

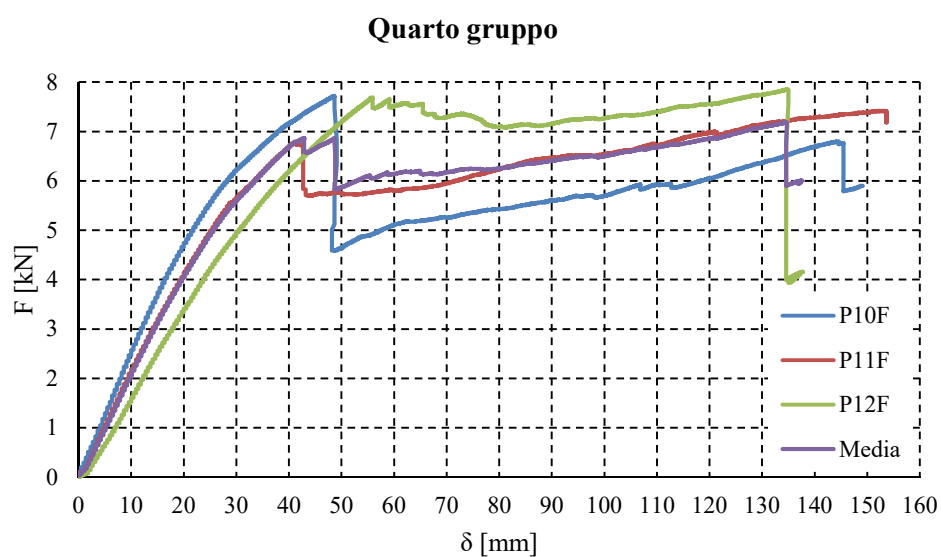


Fig. 5.352 Grafico F- δ provino P10F, P11F, P12F e media

Provino	F [kN]	δ [mm]
P10F	7,72	149,09
P11F	7,42	153,64
P12f	7,85	135,00
Media	7,66	145,91

Tab. 5.143 Riepilogo quarto gruppo

2.4.5 Risultati quinto gruppo

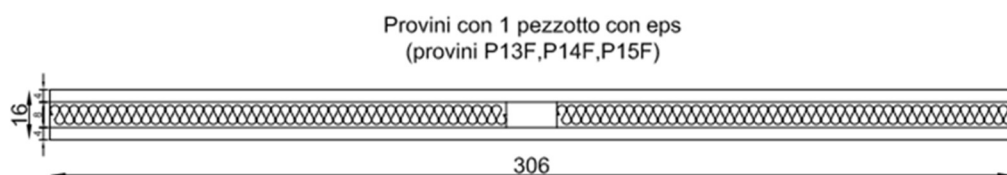


Fig. 5.353 Schema provino quinto gruppo

PROVINO P13F

Il **provino P13F** presenta sulla faccia superiore 6 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri 5 molto più grandi e allungati. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 3 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 12 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 3 kN a cui corrisponde un abbassamento di 12 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 8,43 kN ed un abbassamento di 43 mm. Dopo questa fase si è registrato una brusca riduzione della forza dovuta alla rottura a taglio dell’EPS. Dopo una iniziale fase di assestamento si è registrato un aumento della forza fino ad un valore ultimo di 7 kN ed un abbassamento ultimo di 98 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e l’EPS della parte sinistra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 20 mm. La rottura è avvenuta per taglio del collegamento ligneo e dell’EPS. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

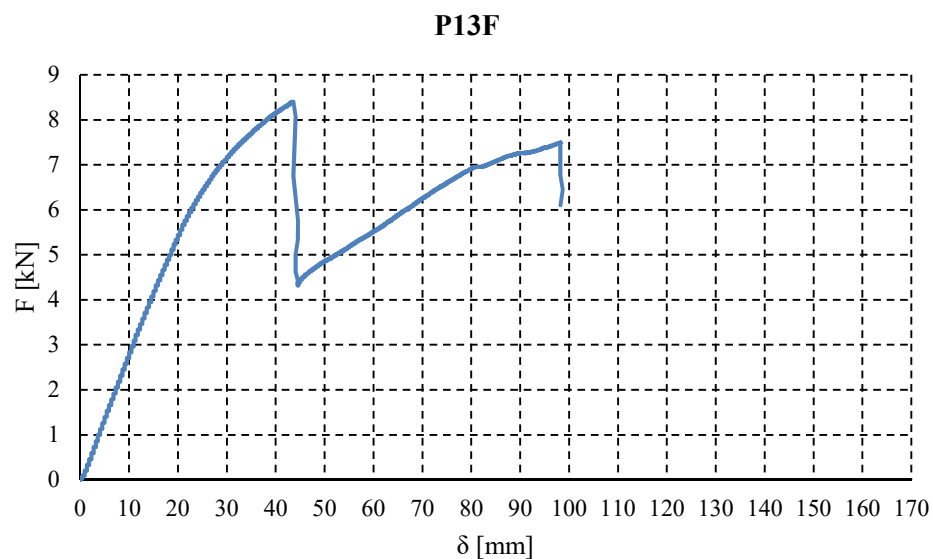


Fig. 5.354 Grafico F- δ provino P13F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/07/2013
DIMENSIONI PROVINO	3060X145X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo ed eps
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 6
	FACCIA INF : 5
	ESTREMO DX : /
	ESTREMO SX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto
COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)	
FORZA [kN]	ABBASSAMENTO w[mm]
3	12
8,43	98
CONDIZIONE	
ELASTICA	
ULTIMA	
COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)	
SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA
20	9
SCORRIMENTO DESTRA	
-	
TIPOLOGIA DI ROTTURA	
Rottura a taglio del collegamento ligneo centrale ed a taglio del EPS	

Tab. 5.144 Scheda riepilogativa provino P13f



Fig. 5.355 Foto provino P13f

PROVINO P14F

Il **provino P14F** presenta sulla faccia superiore 5 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri 7 molto più grandi e allungati. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 5 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 22 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 5 kN a cui corrisponde un abbassamento di 22 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza ultima, 6,73 kN ed un abbassamento di 35,45 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e l’EPS della parte sinistra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 20 mm. La rottura è avvenuta per trazione della tavola inferiore. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

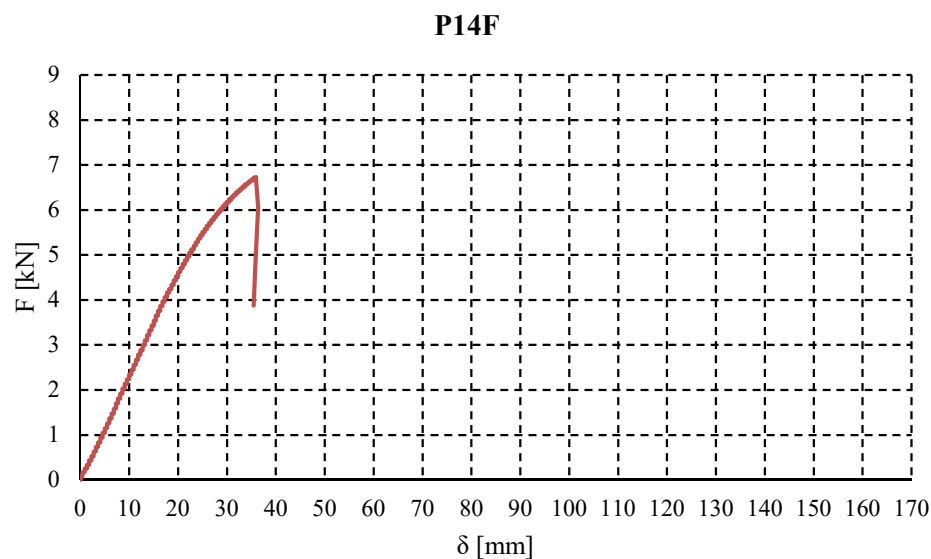


Fig. 5.356 Grafico F- δ provino P14F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/07/2013	
DIMENSIONI PROVINO	3060X145X160 mm	
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo ed eps	
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 5	
	FACCIA INF : 7	
	ESTREMO DX : /	
	ESTREMO SX : /	
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)	
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)	
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto	
COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)		
FORZA [kN]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
5	22	ELASTICA
6,73	35,45	ULTIMA
COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)		
SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA
20	5	-
TIPOLOGIA DI ROTTURA		
Rottura a taglio del collegamento ligneo centrale e dell'EPS		

Tab. 5.145 Scheda riepilogativa Provino P14f



Fig. 5.357 Foto provino P14f

PROVINO P15F

Il **provino P15F** presenta sulla faccia superiore 6 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri 8 molto più grandi. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 4,5 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 12 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 4,5 kN a cui corrisponde un abbassamento di 12 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 8,69 kN ed un abbassamento di 47 mm. Dopo questa fase si è registrato una brusca riduzione della forza dovuta alla rottura a taglio dell’EPS. Dopo una iniziale fase di assestamento si è registrato un aumento della forza fino ad un valore di 6,7 kN ed un abbassamento di 87 mm. Dopo questa fase si è registrato un’altra brusca riduzione della forza dovuta alla rottura a taglio dell’EPS. Durante la fine della prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e l’EPS della parte sinistra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 25 mm. La rottura non è definibile in quanto il potenziometro a filo è arrivato a fine corsa. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

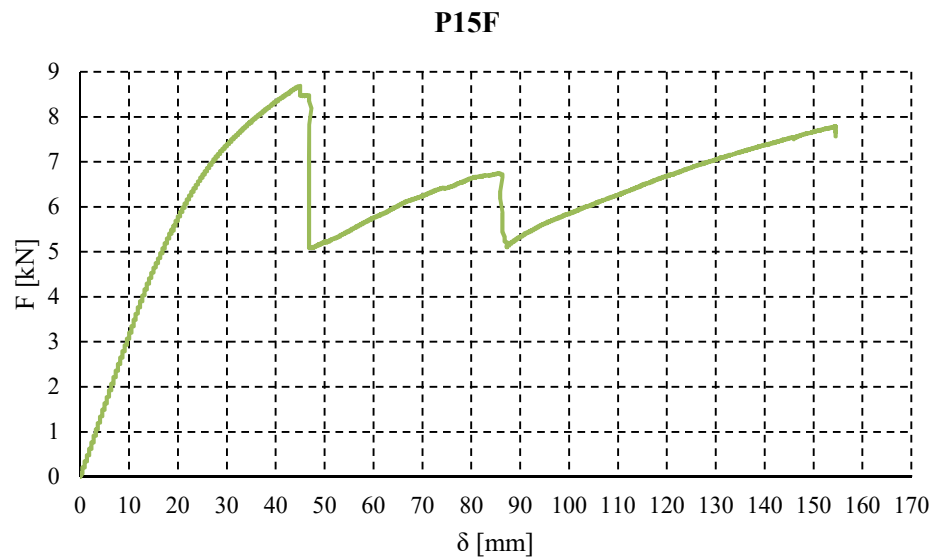


Fig. 5.358 Grafico F- δ provino P15F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/07/2013		
DIMENSIONI PROVINO	3060X145X160 mm		
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo ed eps		
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 6		
	FACCIA INF : 8		
	ESTREMO DX : /		
	ESTREMO SX : /		
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)		
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)		
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto		
COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)			
FORZA [kN]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE	
4,5	12	ELASTICA	
8,69	154,55 (fine corsa)	ULTIMA	
COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)			
SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA	
25	7	-	
TIPOLOGIA DI ROTTURA			
Non rilevabile il provino è arrivato a finecorsa			

Tab. 5.146 Scheda riepilogativa provino P15f



Fig. 5.359 Foto Provino P15F

Riepilogo dei provini del quinto gruppo

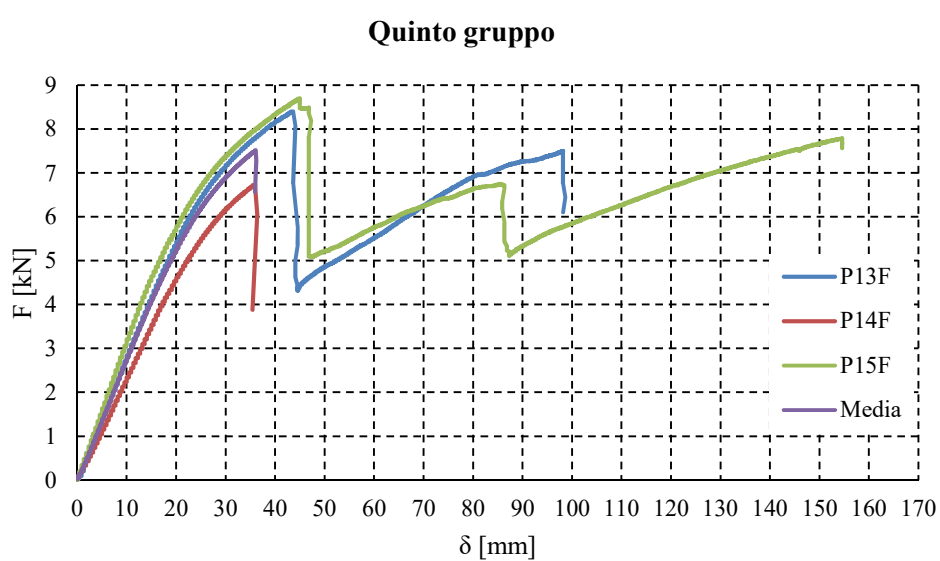


Fig. 5.360 Grafico F- δ provino P13F, P14F, P15F e media

Provino	F [kN]	δ [mm]
P13F	8,40	98,00
P14F	6,73	35,45
P15f	8,69	154,55
Media	7,94	96

Tab. 5.147 Riepilogo quinto gruppo

2.4.6 Risultati sesto gruppo



Fig. 5.361 Schema provino sesto gruppo

PROVINO P16F

Il **provino P16F** presenta sulla faccia superiore 7 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri 9 molto più grandi. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 34 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 33 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 34 kN a cui corrisponde un abbassamento di 33 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza ultima, 44,29 kN ed un abbassamento di 50,45 mm. La rottura è avvenuta per trazione della tavola inferiore. Infatti la trave presentava diversi nodi allineati nella parte centrale che hanno sicuramente provocato una rottura fragile. Importante è da notare che la rottura è avvenuta per trazione delle tavole mentre la superficie di incollaggio è risultata sovrarresistente. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

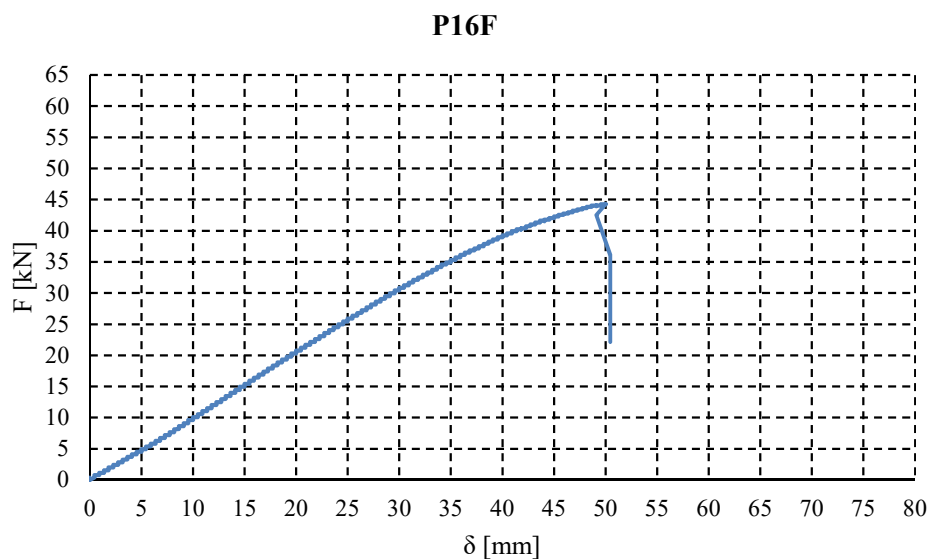


Fig. 5.362 Grafico F- δ provino P16F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	13/06/2013
DIMENSIONI PROVINO	3060X145X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 7
	FACCIA INF : 9
	ESTREMO DX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

FORZA [kN]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
34	33	ELASTICA
44,29	50,45	ULTIMA

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a trazione tavola inferiore (presenza di diversi nodi allineati in mezzeria)

Tab.5.148 Scheda riepilogativa



Fig. 5.363 Foto provino P16f

PROVINO P17F

Il **provino P17F** presenta sulla faccia superiore 7 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri 6 molto più grandi e allungati che, trovandosi vicini, interessano la tavola per tutta la lunghezza minore. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 34 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 33 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 34 kN a cui corrisponde un abbassamento di 33 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza ultima, 44,29 kN ed un abbassamento di 50,45 mm. La rottura è avvenuta per trazione della tavola inferiore. Infatti la trave presentava diversi nodi allineati nella parte centrale che hanno sicuramente provocato una rottura fragile. Inoltre si è registrato una leggera duttilità dovuta alla deformazione in compressione della tavola superiore. Importante è da notare che la rottura è avvenuta per trazione delle tavole mentre la superficie di incollaggio è risultata sovrarresistente. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

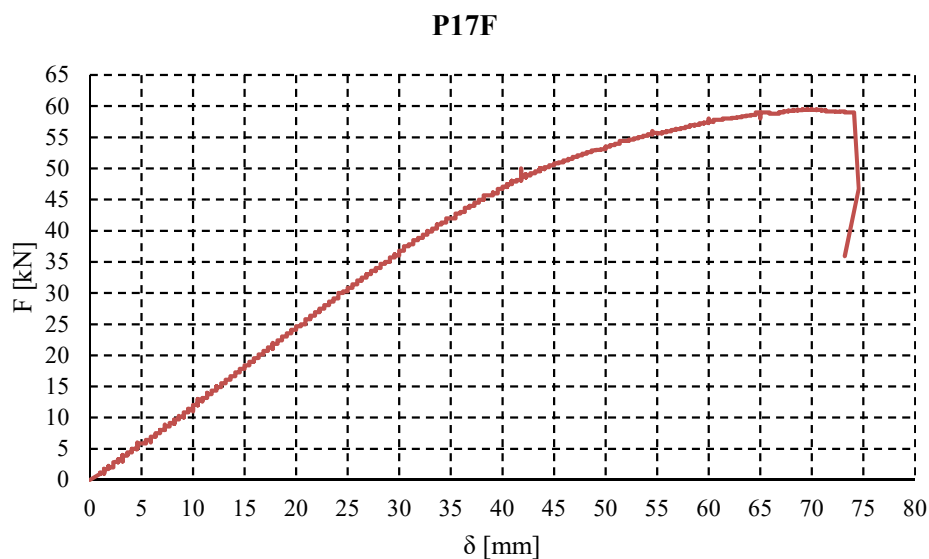


Fig. 5.364 Grafico F- δ provino P17F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/07/2013
DIMENSIONI PROVINO	3060X145X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 7
	FACCIA INF : 6
	ESTREMO DX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

FORZA [kN]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
40	35	ELASTICA
59,50	74,55	ULTIMA

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a trazione tavola inferiore (leggera duttilità della tavola superiore compressa)

Tab. 5.149 Scheda riepilogativa provino P17f



Fig. 5.365 Foto provino P17F

PROVINO P18F

Il **provino P18F** presenta sulla faccia superiore 6 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri 8 molto più grandi. Il taglio delle tavole è avvenuta “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 45 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 33 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 45 kN a cui corrisponde un abbassamento di 33 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza ultima, 60,85 kN ed un abbassamento di 49,09 mm. La rottura è avvenuta per trazione della tavola inferiore. Importante è da notare che la rottura è avvenuta per trazione delle tavole mentre la superficie di incollaggio è risultata sovrarresistente. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

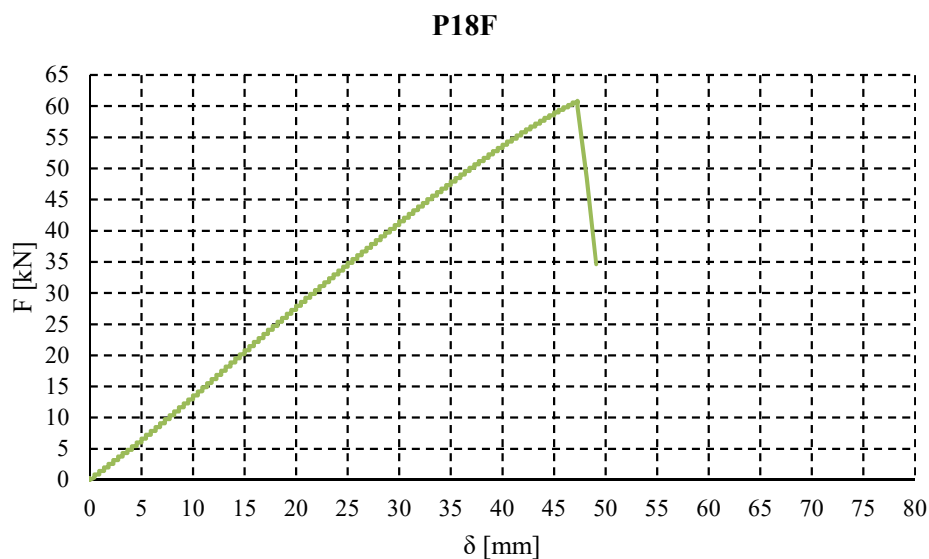


Fig. 5.366 Grafico F- δ provino P18F

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	23/07/2013
DIMENSIONI PROVINO	3060X145X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso scandinavo
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 6
	FACCIA INF : 8
	ESTREMO DX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	8 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

FORZA [kN]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
45	33	ELASTICA
60,85	49,09	ULTIMA

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a trazione tavola inferiore

Tab. 5.150 Scheda riepilogativa provino P18f



Fig. 5.367 Foto provino P18F

Riepilogo dei provini del sesto gruppo

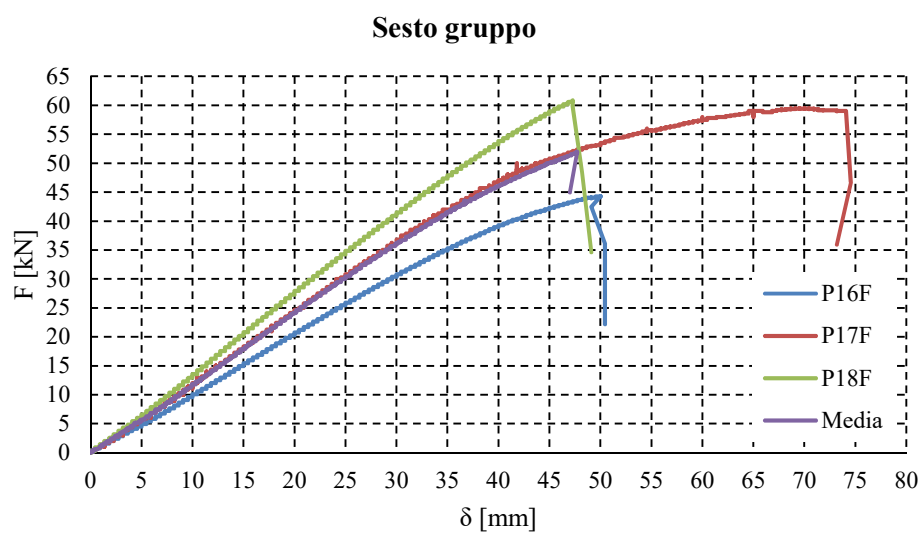


Fig. 5.368 Grafico F-δ provino P16F, P17F, P18F e media

Provino	F [kN]	δ [mm]
P16F	44,29	50,45
P17F	59,50	74,55
P18f	60,85	49,09
Media	54,88	58,03

Tab. 5.151 Riepilogo sesto gruppo

2.4.7 Confronti

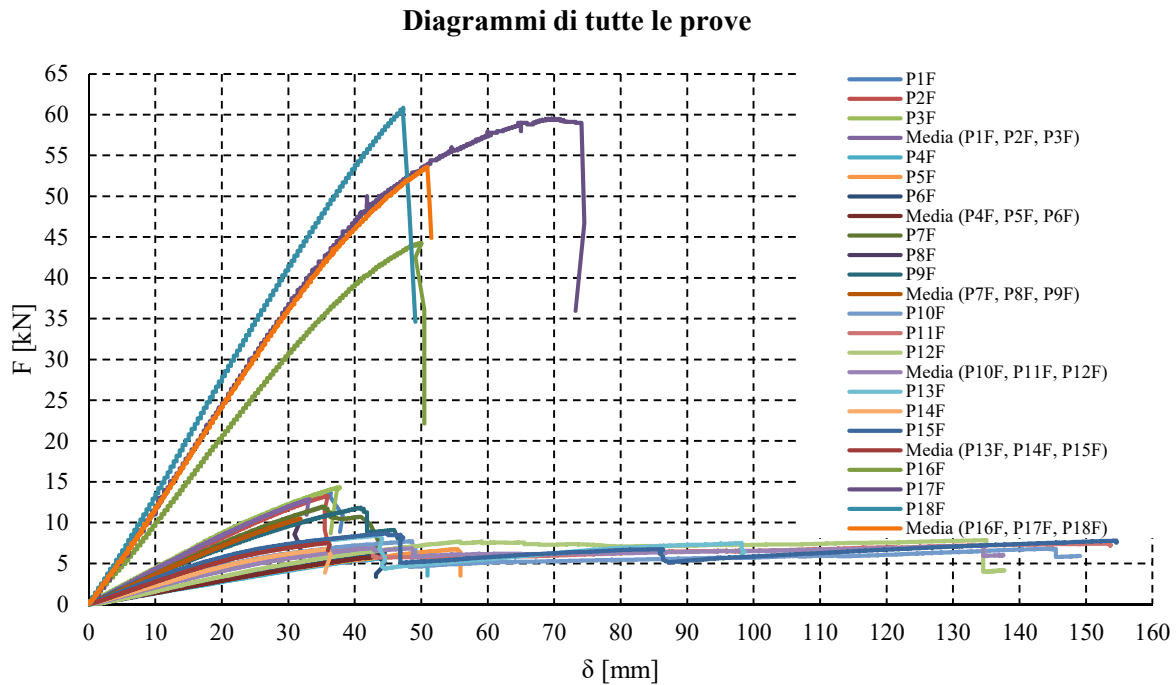


Fig. 5.369 Grafico F- δ Confronto di tutti i grafici

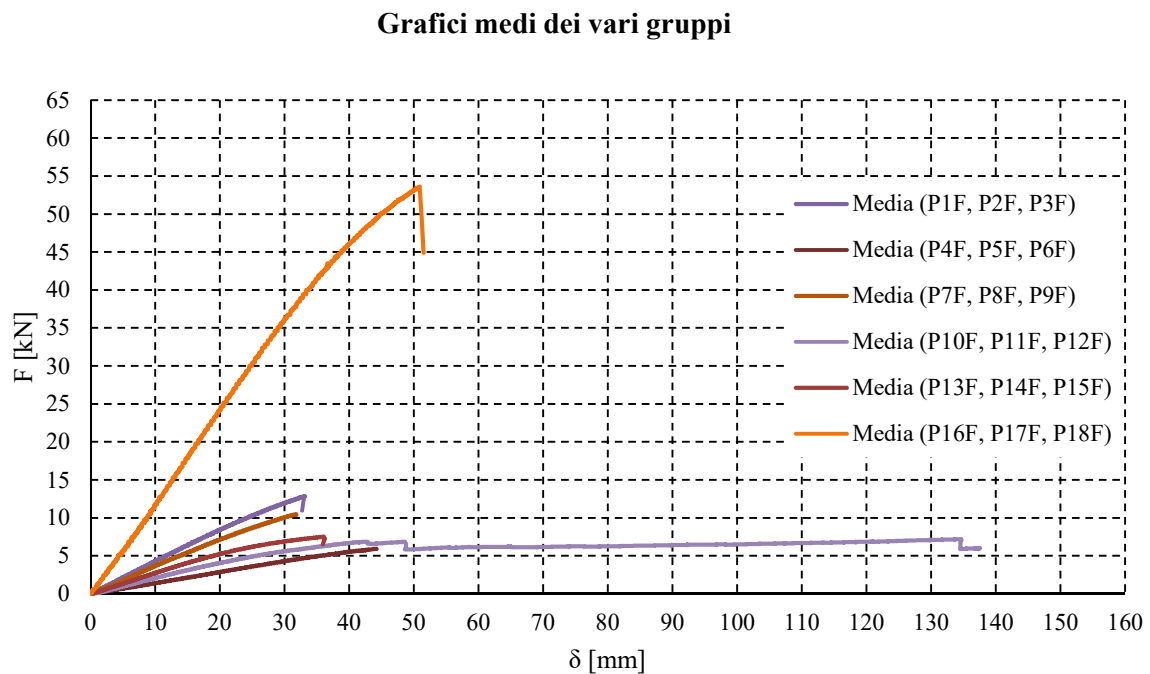


Fig. 5.370 Grafico F- δ Confronto dei grafici medi dei vari gruppi

Prove sperimentali su pannelli lignei (GRUPPO R)

Si è effettuata inoltre anche una prova a flessione “a 4 punti forza” su un pannello Porepan di dimensioni 22x16x200 cm al fine di determinare le principali caratteristiche meccaniche (modulo elastico, resistenza a flessione).

L’ apparecchio di prova utilizzato è la macchina per prove a flessione denominata “vitone di pressione” già descritta nel capitolo 4 (“Descrizione delle macchine di prova”). I provini testato è un pannello Porepan delle dimensioni di 2000x220x160 (LxBxS). Essendo legno strutturale, sono presenti i difetti quali nodi, deviazione della fibratura, fratture interne che influenzano, a seconda della loro posizione, il risultato della prova e, quindi, i valori delle caratteristiche meccaniche.

Set-up di prova

Per ottenere dei buoni risultati di prova, si è fatta particolare attenzione sia al posizionamento del provino sotto la macchina, sia nel predisporre tutti gli strumenti di misura necessari all’acquisizione dei dati. Per eliminare qualsiasi eccentricità nell’applicazione al carico, il provino deve essere centrato rispetto all’attuatore e rispetto, quindi, al banco di prova. Dunque avendo già segnato su di esso le linee di mezzzeria in entrambe le direzioni, è stato poggiato sugli appoggi, facendo coincidere le linee tracciate sul provino ed sull’ appoggio. Gli strumenti utilizzati sono stati:

- Cella di carico da 50 kN
- Due centraline Spider otto
- Due LVDT da 100 mm per misurare l’abbassamento (LVDT O ed N)
- Quattro LVDT da 50 mm per misurare l’abbassamento (LVDT A, B, C ed L)
- Quattro LVDT da 20 mm per misurare lo scorrimento tra tavola ed EPS (LVDT D, E, F e G)
- Due potenziometri a filo per misurare l’abbassamento (P.F. 5040 e P.F. 11338)

PROVE SU 4 PUNTI FORZA LABORATORIO VIA CLAUDIO
PROVINI F1 , F2 , F3.

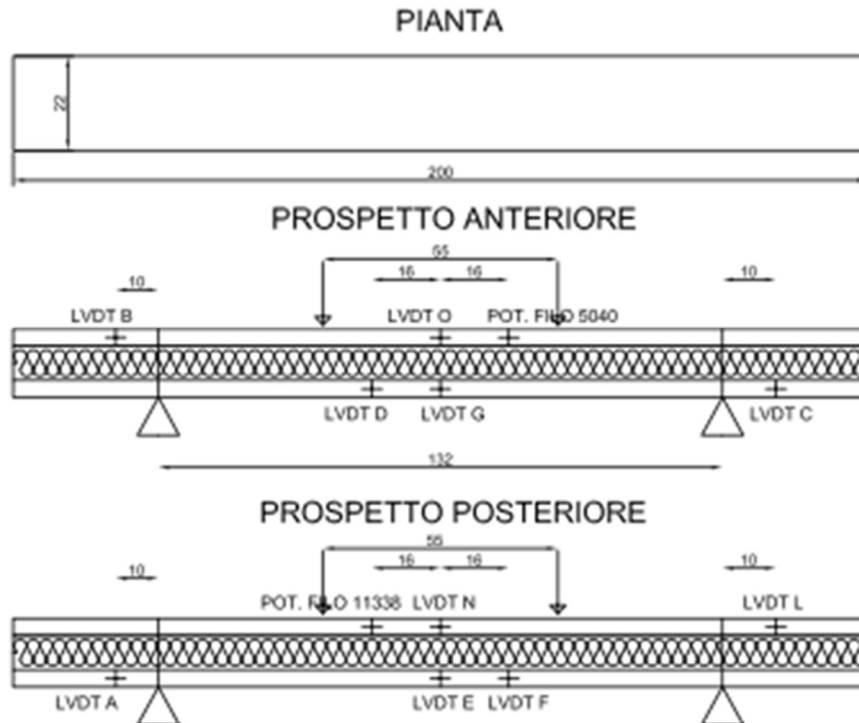


Fig. 5.371 Configurazione di prova (misure in centimetri)

Il programma di prove ha previsto l'esecuzione di n.1 di prova a flessione su quattro punti forza su provino di legno di Abete Rosso austriaco (C16) di dimensioni 2000x220x160 mm.



Fig. 5.372 Strumentazione di prova

PROVINO F1

Il **provino F1** presenta sulla faccia superiore quattro nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri due molto più grandi e allungati. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 10 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 5 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 10 kN a cui corrisponde un abbassamento di 5 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 43,5 kN ed un abbassamento ultimo di 85 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e l’eps di sinistra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 25 mm. La rottura che si registra è a taglio per l’eps ed a trazione per la tavola inferiore. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

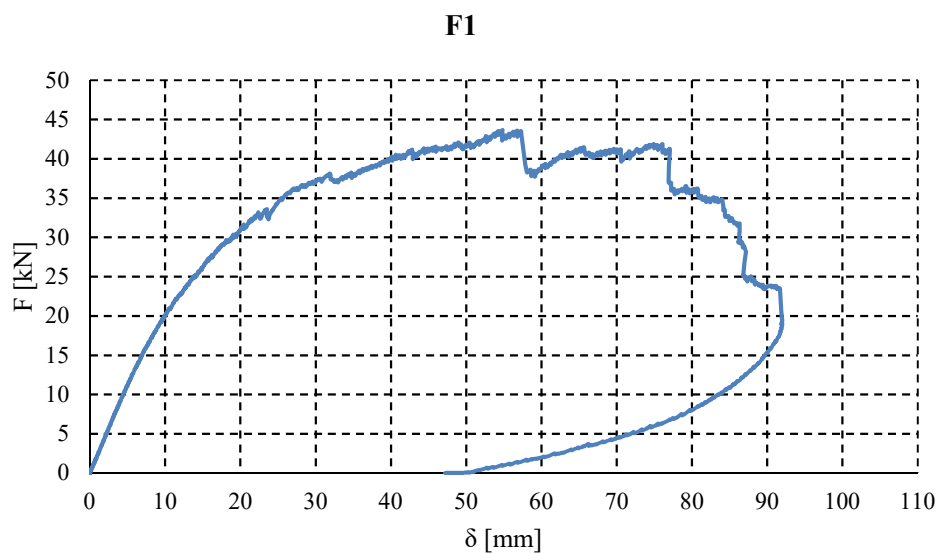


Fig. 5.39

Fig. 5.373 Grafico F- δ provino F1

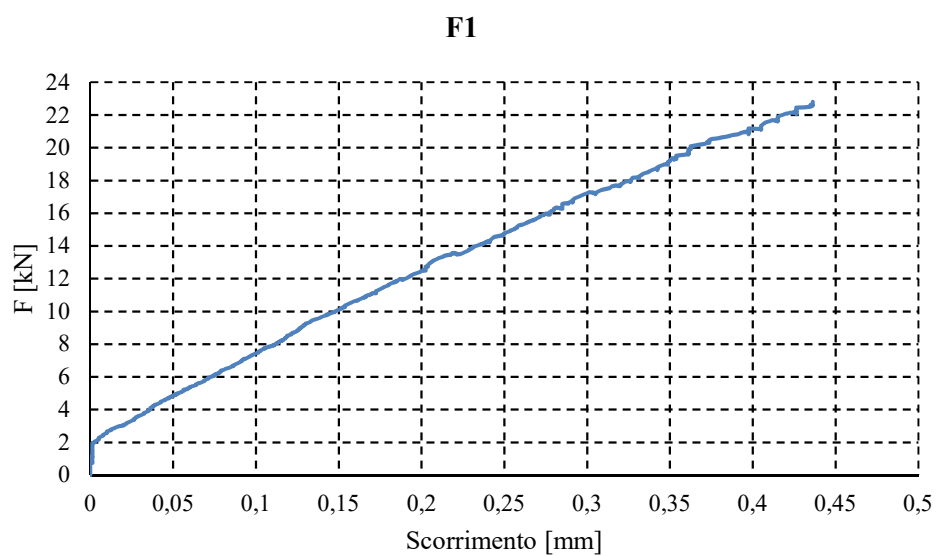


Fig. 5.374 Grafico F-scorrimento provino F1 tavola inferiore-eps

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	19/07/2013
DIMENSIONI PROVINO	2000X220X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso austriaco ed eps
	FACCIA SUP : 4
	FACCIA INF : 2
DIFETTI RILEVATI	ESTREMO DX : /
	ESTREMO SX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	10 mm/minuto = un quarto di giro (fino ad una forza di 10 kN)

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

FORZA [Kn]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
10	5	ELASTICA
43,5	85	ULTIMA

COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)

SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA
25	0	0

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dell'eps e a trazione della tavola inferiore

Tab. 5.152 Scheda di repilogo provini F1

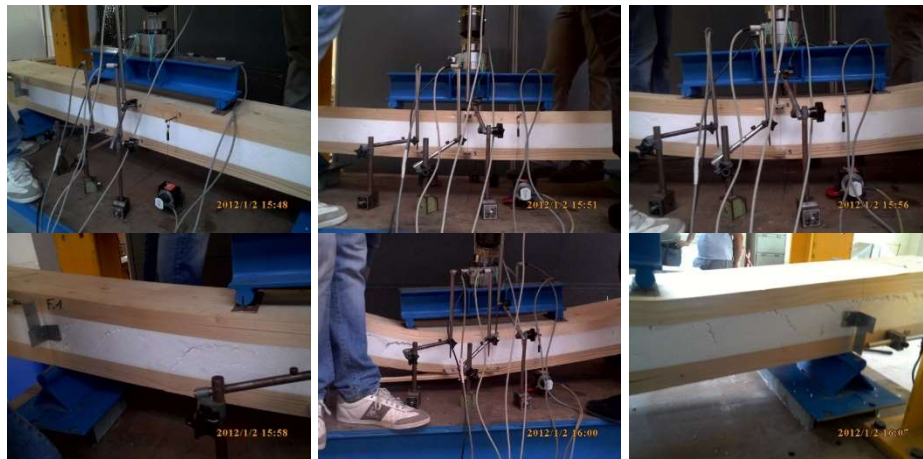


Fig. 5.375 Foto Provino F1

Ulteriori prove

Si sono effettuate inoltre altre prove a flessione “a 4 punti forza” su pannelli lignei di dimensioni 22x16x200 cm al fine di determinare le principali caratteristiche meccaniche (modulo elastico, resistenza a flessione).

L’ apparecchio di prova utilizzato è la macchina per prove a flessione denominata Italsigma già descritta nel capitolo 4 (“Descrizione delle macchine di prova”). Essendo legno strutturale, sono presenti i difetti quali nodi, deviazione della fibratura, fratture interne che influenzano, a seconda della loro posizione, il risultato della prova e, quindi, i valori delle caratteristiche meccaniche.

Set-up di prova

Per ottenere dei buoni risultati di prova, si è fatta particolare attenzione sia al posizionamento del provino sotto la macchina, sia nel predisporre tutti gli strumenti di misura necessari all’acquisizione dei dati. Per eliminare qualsiasi eccentricità nell’applicazione al carico, il provino deve essere centrato rispetto all’attuatore e rispetto, quindi, al banco di prova. Dunque avendo già segnato su di esso le linee di mezzeria in entrambe le direzioni, è stato poggiato sugli appoggi, facendo coincidere le linee tracciate sul provino ed sull’ appoggio. Gli strumenti utilizzati sono stati:

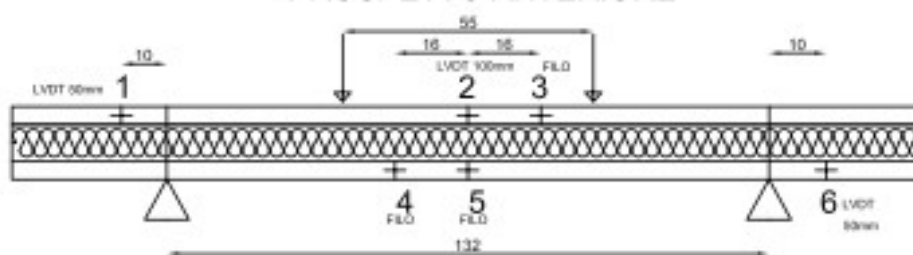
- Cella di carico da 100 kN
- Due centraline Spider otto
- Due LVDT da 100 mm per misurare l’abbassamento (LVDT O ed N)
- Quattro LVDT da 50 mm per misurare lo scorrimento (LVDT D, E, F ed G)
- Sei potenziometri a filo per misurare l’abbassamento (P.F. 5040, P.F. 11338, P.F. 14759, P.F. 12725 , P.F. 15534 e P.F. 14747)

PROVE SU 4 PUNTI FORZA LABORATORIO VIA CLAUDIO
PROVINI F2 , F3.

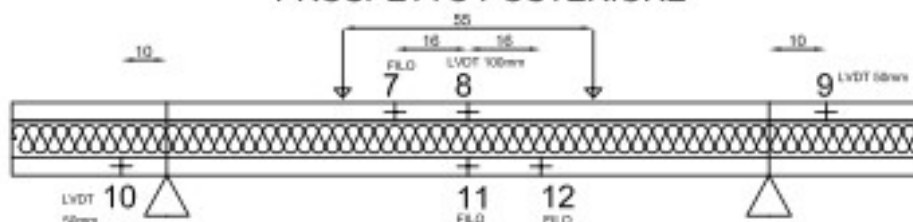
PIANTA



PROSPETTO ANTERIORE



PROSPETTO POSTERIORE



LEGENDA

- 1 = LVDI 50mm (scorrimento TAVOLA/EPS)
- 2 = LVDI 100 mm (abbassamento)
- 3 = potenziometro a filo (abbassamento)
- 4 = potenziometro a filo (abbassamento)
- 5 = potenziometro a filo (abbassamento)
- 6 = LVDI 50mm (scorrimento TAVOLA/EPS)
- 7 = potenziometro a filo (abbassamento)
- 8 = LVDI 100 mm (abbassamento)
- 9 = LVDI 50mm (scorrimento TAVOLA/EPS)
- 10 = LVDI 50mm (scorrimento TAVOLA/EPS)
- 11 = potenziometro a filo (abbassamento)
- 12 = potenziometro a filo (abbassamento)

CELLA DI CARICO 100 kN

2 CENTRALINE SPIDER 8

LINEA SPIDER	NUMERO PROVINO CELLA
0	1. LVDI O
1	2. LVDI O
2	3. POT. FILO 14759
3	4. POT. FILO 11338
4	5. POT. FILO 12725
5	6. LVDI G
6	7. POT. FILO 15534
7	8. LVDI N
10	9. LVDI E
11	10. LVDI F
12	11. POT. FILO 14747
13	12. POT. FILO 5040

Fig. 5.376 Configurazione di prova (misure in centimetri)

Il programma di prove ha previsto l'esecuzione di n.2 di prova a flessione su quattro punti forza su provino di legno di Abete Rosso austriaco (C16) di dimensioni 2000x220x160 mm.



Fig. 5.377 Strumentazione di prova

PROVINO F2

Il **provino F2** presenta sulla faccia superiore tre nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri due molto più grandi e allungati. Il taglio della tavola è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 15 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 8 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 15 kN a cui corrisponde un abbassamento di 8 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 37,5 kN ed un abbassamento ultimo di 65 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e l’eps di sinistra e anche su quello di destra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 10 mm su entrambi i lati. La rottura che si registra è a taglio per l’eps ed a trazione per la tavola inferiore. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

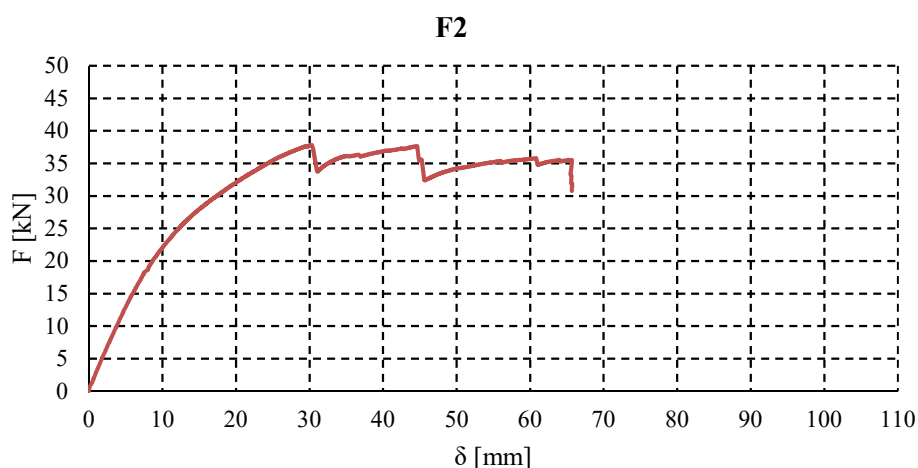


Fig. 5.378 Grafico F- δ provino F2

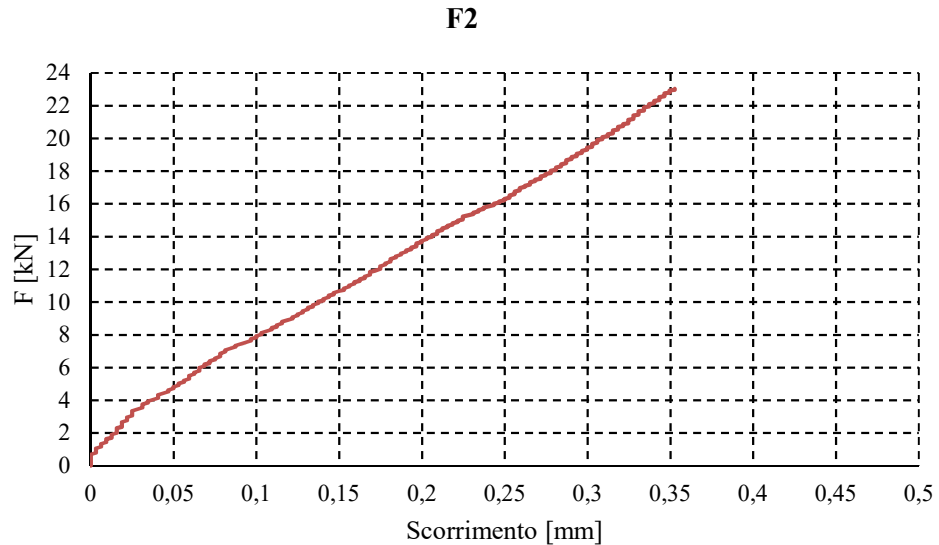


Fig. 5.379 Grafico F-scorrimento provino F2 tavola inferiore-eps lato sinistro

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	04/10/2013
DIMENSIONI PROVINO	2000X220X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso austriaco ed eps
	FACCIA SUP : 3
	FACCIA INF : 2
DIFETTI RILEVATI	ESTREMO DX : /
	ESTREMO SX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	10 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

FORZA [Kn]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
15	8	ELASTICA
37,5	65	ULTIMA

COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)

SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA
10	0	10

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dell'eps e a trazione della tavola inferiore

Tab. 5.153 Scheda riepilogativa provino F2



Fig. 5.380 Foto Provino F2

PROVINO F3

Il **provino F3** presenta sulla faccia superiore due nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri due molto più grandi e allungati. Il taglio della tavola è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 15 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 7 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 15 kN a cui corrisponde un abbassamento di 7 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 47,5 kN ed un abbassamento ultimo di 105 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e l’eps di sinistra e anche su quello di destra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 10 mm su entrambi i lati. La rottura che si registra è a taglio per l’eps ed a trazione per la tavola inferiore. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

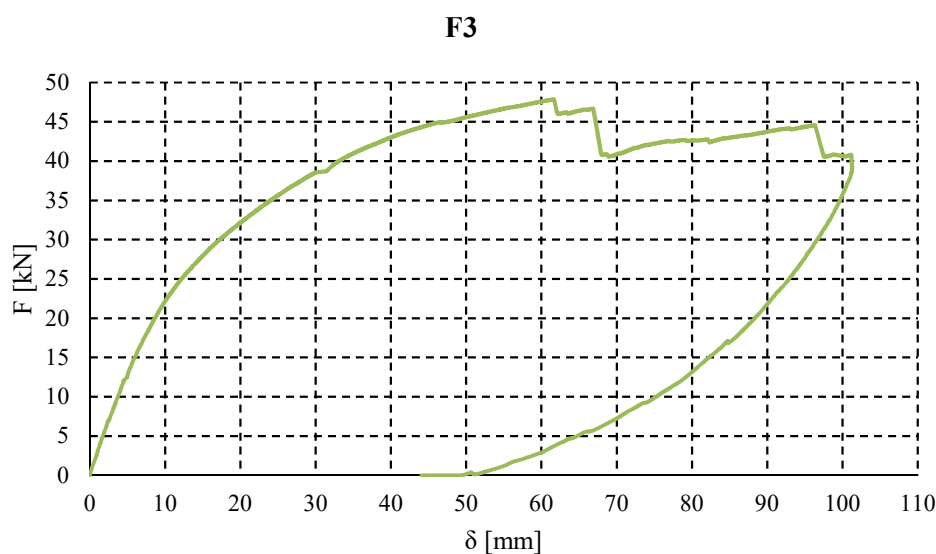


Fig. 5.381 Grafico F- δ provino F3 prospetto anteriore

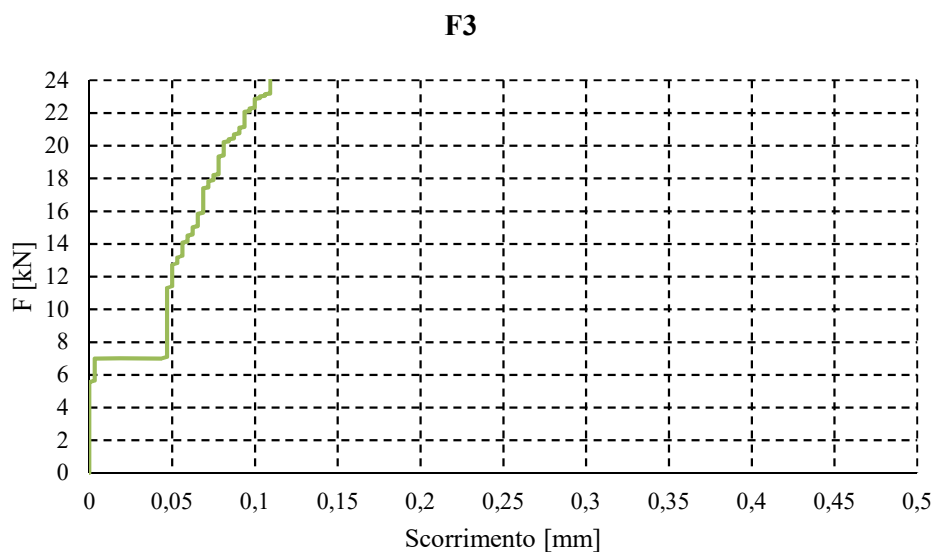


Fig. 5.382 Grafico F-scorrimento provino F3 tavola inferiore-eps

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	04/10/2013
DIMENSIONI PROVINO	2000X220X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso austriaco ed eps
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 2
	FACCIA INF : 2
	ESTREMO DX : /
	ESTREMO SX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	10 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

FORZA [Kn]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
15	7	ELASTICA
47,5	105	ULTIMA

COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)

SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA
10	0	10

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dell'eps e a trazione della tavola inferiore

Tab. 5.154 Scheda riepilogativa provino F3

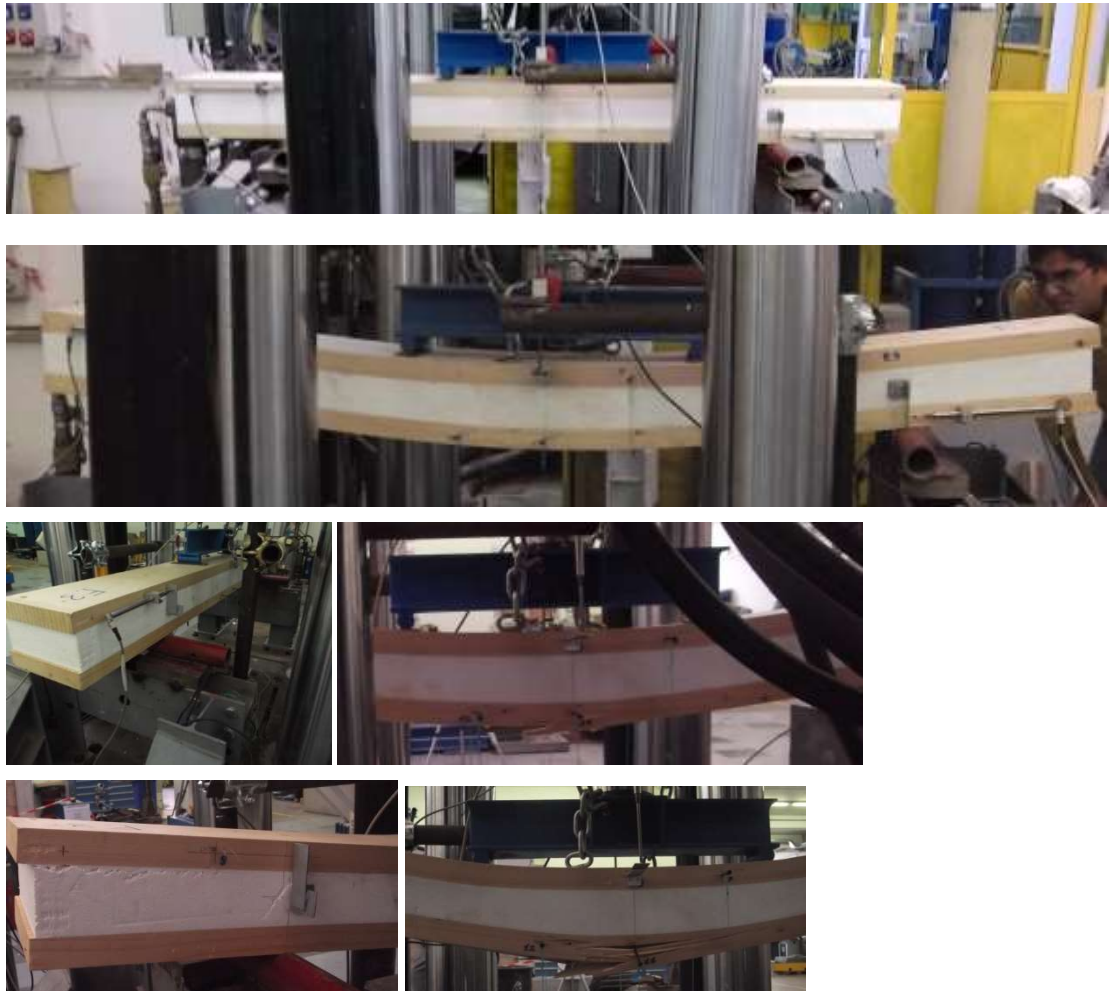


Fig. 5.383 Foto Provino F3

Riepilogo dei provini primo gruppo

Provini F1, F2, F3

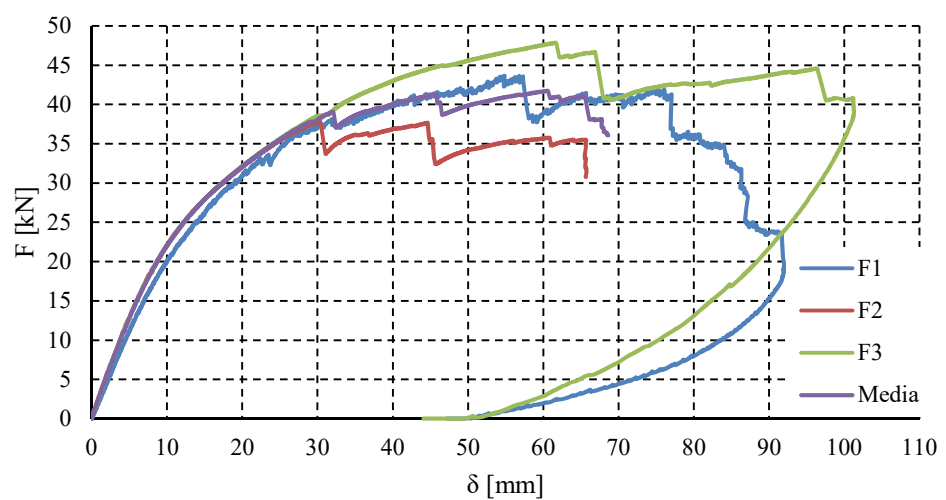


Fig. 5.384 Grafico F- δ provino F1, F2, F3 e media

Provino	Fu [kN]	δu [mm]
F1	43,5	92
F2	37,5	65
F3	47,5	105
Media	42,8	87,3

Tab. 5.155 Riepilogo primo gruppo

Provini F1, F2, F3

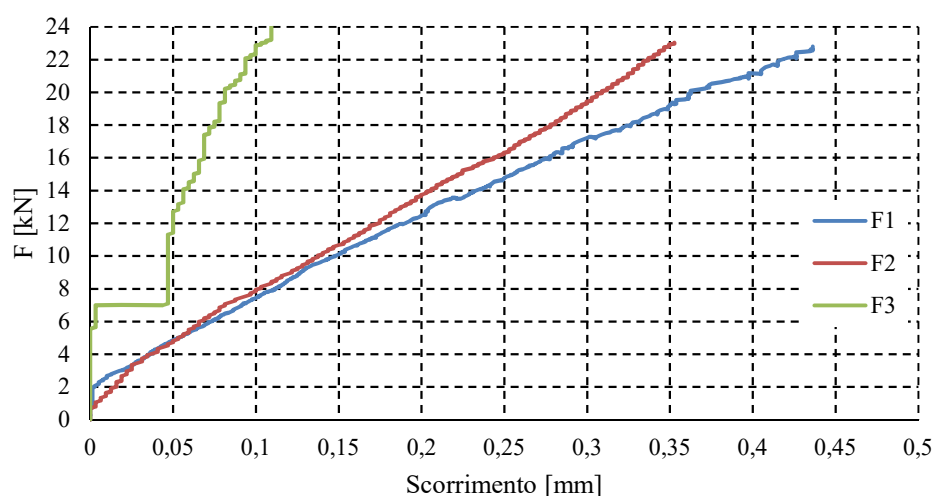


Fig. 5.385 Grafico F-scorrimento provino F1, F2, F3 (tratto elastico iniziale)

PROVINO F4

Il **provino F4** presenta sulla faccia superiore tre nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri due molto più grandi e allungati. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 15 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 8 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 15 kN a cui corrisponde un abbassamento di 8 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 40 kN ed un abbassamento ultimo di 70 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e l’eps di sinistra e anche su quello di destra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 10 mm su entrambi i lati. La rottura che si registra è a taglio per l’eps ed a trazione per la tavola inferiore. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

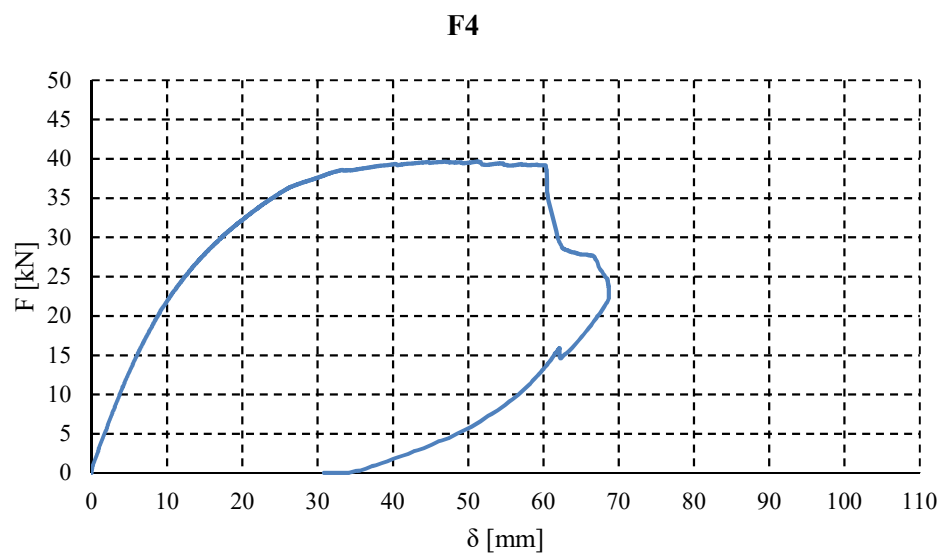


Fig. 5.386 Grafico F- δ provino F4

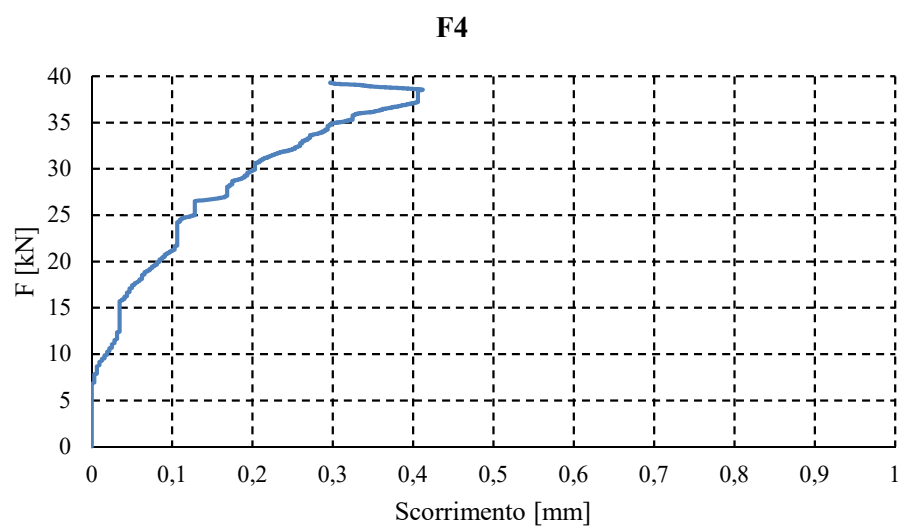


Fig. 5.387 Grafico F-scorrimento provino F4 tavola inferiore-eps lato sinistro

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	08/10/2013
DIMENSIONI PROVINO	2000X220X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso austriaco ed eps
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 3
	FACCIA INF : 2
	ESTREMO DX : /
	ESTREMO SX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	10 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

FORZA [Kn]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
15	8	ELASTICA
40	70	ULTIMA

COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)

SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA
10	0	10

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dell'eps e a trazione della tavola inferiore

Tab. 5.156 Scheda riepilogativa provino F4



Fig. 5.388 Foto Provino F4

PROVINO F5

Il **provino F5** presenta sulla faccia superiore due nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri due molto più grandi e allungati. Il taglio della tavola è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 15 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 7 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 15 kN a cui corrisponde un abbassamento di 7 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 36,5 kN ed un abbassamento ultimo di 55 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e l’eps di sinistra e anche su quello di destra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 10 mm su entrambi i lati. La rottura che si registra è a taglio per l’eps ed a trazione per la tavola inferiore. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

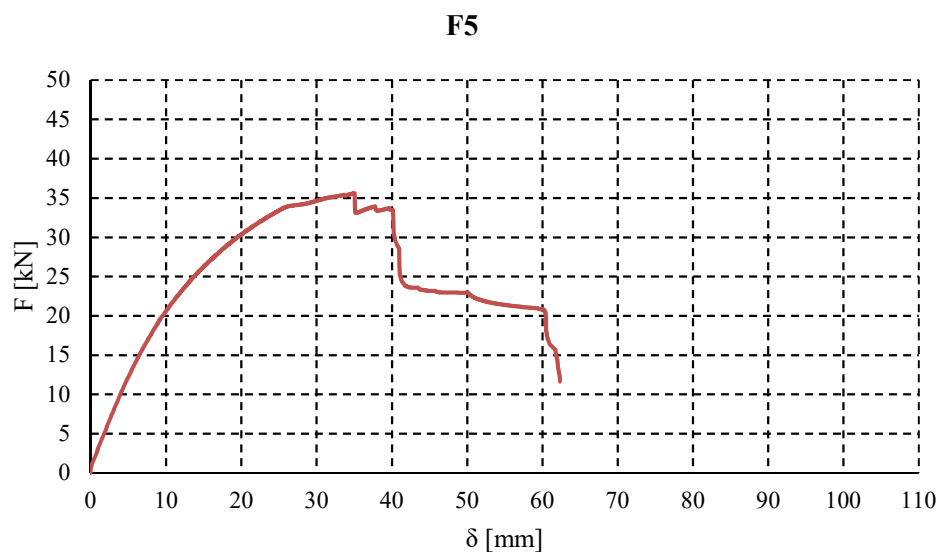


Fig. 5.389 Grafico F- δ provino F5

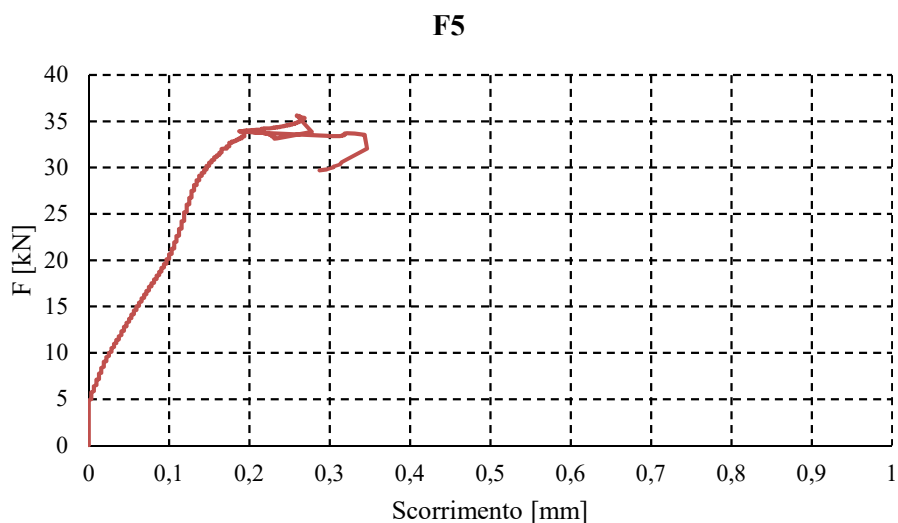


Fig. 5.390 Grafico F-scorrimento provino F5 tavola inferiore-eps

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	08/10/2013
DIMENSIONI PROVINO	2000X220X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso austriaco ed eps
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 2
	FACCIA INF : 2
	ESTREMO DX : /
	ESTREMO SX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	10 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

FORZA [Kn]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
15	7	ELASTICA
36,5	55	ULTIMA

COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)

SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA
10	0	10

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dell'eps e a trazione della tavola inferiore

Tab. 5.157 Scheda riepilogativa provino F5



Fig. 5.391 Foto Provino F5

PROVINO F6

Il **provino F6** presenta sulla faccia superiore due nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri due molto più grandi e allungati. Il taglio della tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 15 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 6 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 15 kN a cui corrisponde un abbassamento di 6 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 45,5 kN ed un abbassamento ultimo di 75 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e l’eps di sinistra e anche su quello di destra che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento di 10 mm su entrambi i lati. La rottura che si registra è a taglio per l’eps e a trazione per la tavola inferiore. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

F6

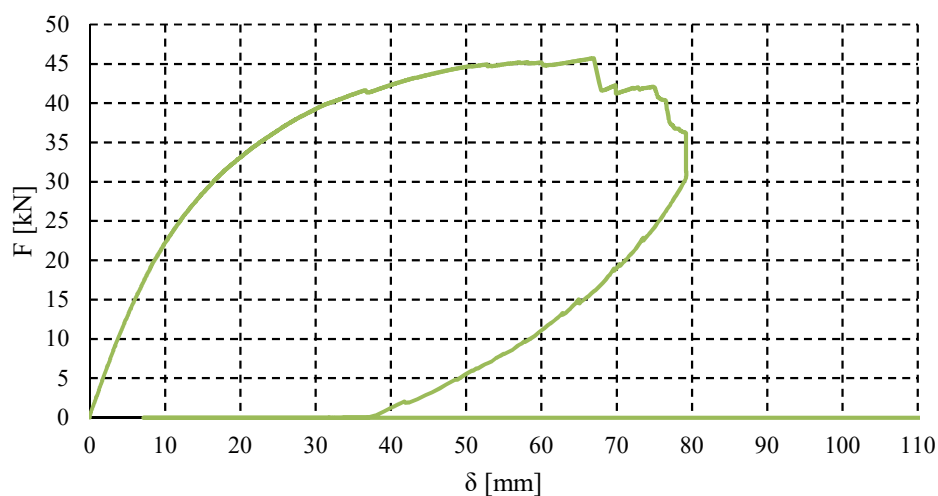


Fig. 5.392 Grafico F- δ provino F6

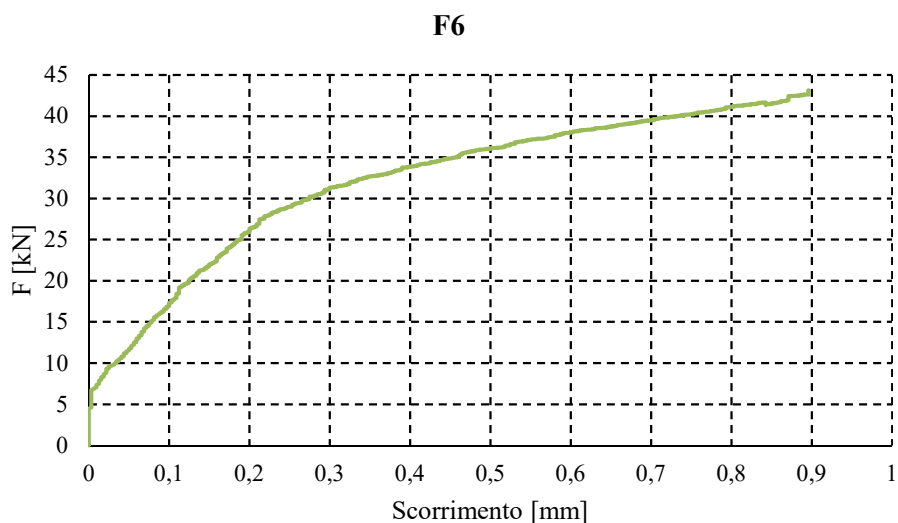


Fig. 5.393 Grafico F-scorrimento provino F6 tavola inferiore-eps

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	08/10/2013
DIMENSIONI PROVINO	2000X220X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso austriaco ed eps
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 2
	FACCIA INF : 2
	ESTREMO DX : /
	ESTREMO SX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	10 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

FORZA [Kn]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
15	6	ELASTICA
45,5	75	ULTIMA

COMPORTAMENTO DEL PROVINO AGLI APPOGGI (SCORRIMENTO mm)

SCORRIMENTO SINISTRA	SCORRIMENTO MEZZERIA	SCORRIMENTO DESTRA
10	0	10

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dell'eps e a trazione della tavola inferiore

Tab. 5.158 Scheda riepilogativa provino F6



Fig. 5.394 Foto Provino F6

Riepilogo dei provini del secondo gruppo

Provini F4, F5, F6

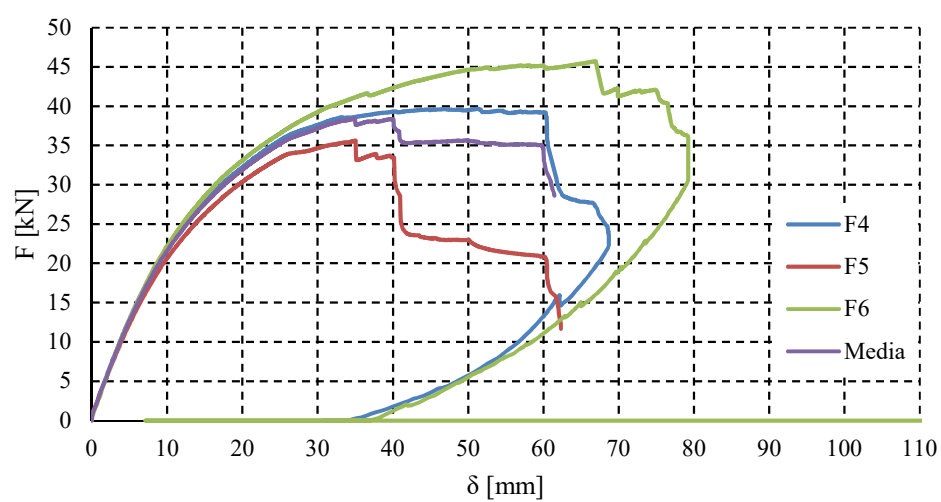


Fig. 5.395 Grafico F-δ provino F4,F5, F6

Provino	Fu [kN]	δu [mm]
F4	40	70
F5	36,5	55
F6	45,5	75
Media	40,66	66,6

Tab. 5.159 Riepilogo secondo gruppo

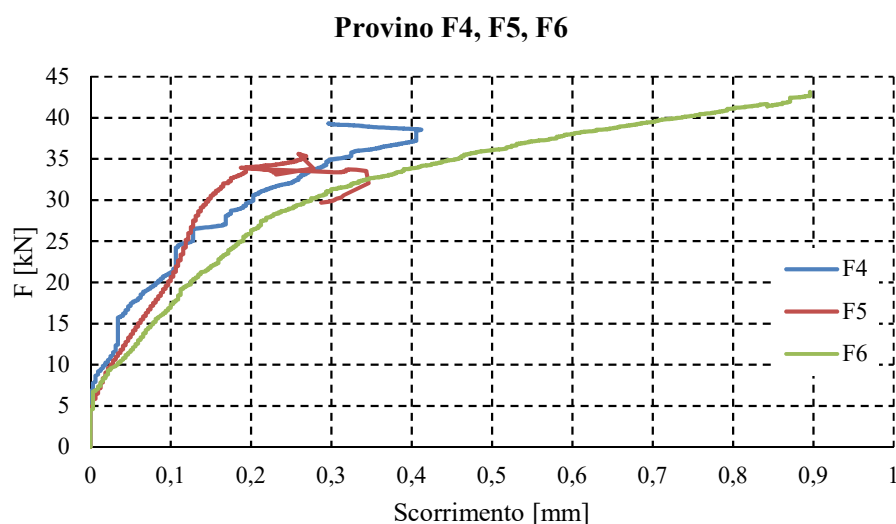


Fig. 5.396 Grafico F-scorrimento provino F4, F5, F6 (tratto elastico iniziale)

PROVINO F7

Il **provino F7** presenta sulla faccia superiore due nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri due molto più grandi e allungati. Il taglio della tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 10 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 5 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 10 kN a cui corrisponde un abbassamento di 5 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 25,5 kN ed un abbassamento ultimo di 22 mm. La rottura che si registra è a trazione per la tavola inferiore. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

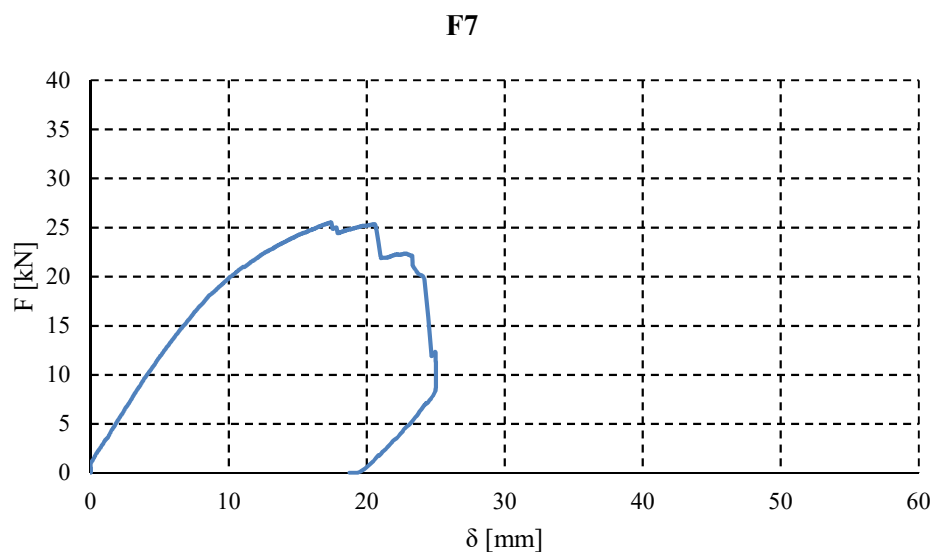


Fig. 5.397 Grafico F- δ provino F7 prospetto anteriore

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	10/10/2013
DIMENSIONI PROVINO	2000X220X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso austriaco
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 2
	FACCIA INF : 2
	ESTREMO DX : /
	ESTREMO SX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	10 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

FORZA [Kn]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
10	5	ELASTICA
25,5	22	ULTIMA
TIPOLOGIA DI ROTTURA		
trazione della tavola inferiore		

Tab. 5.160 Scheda riepilogativa provino F7

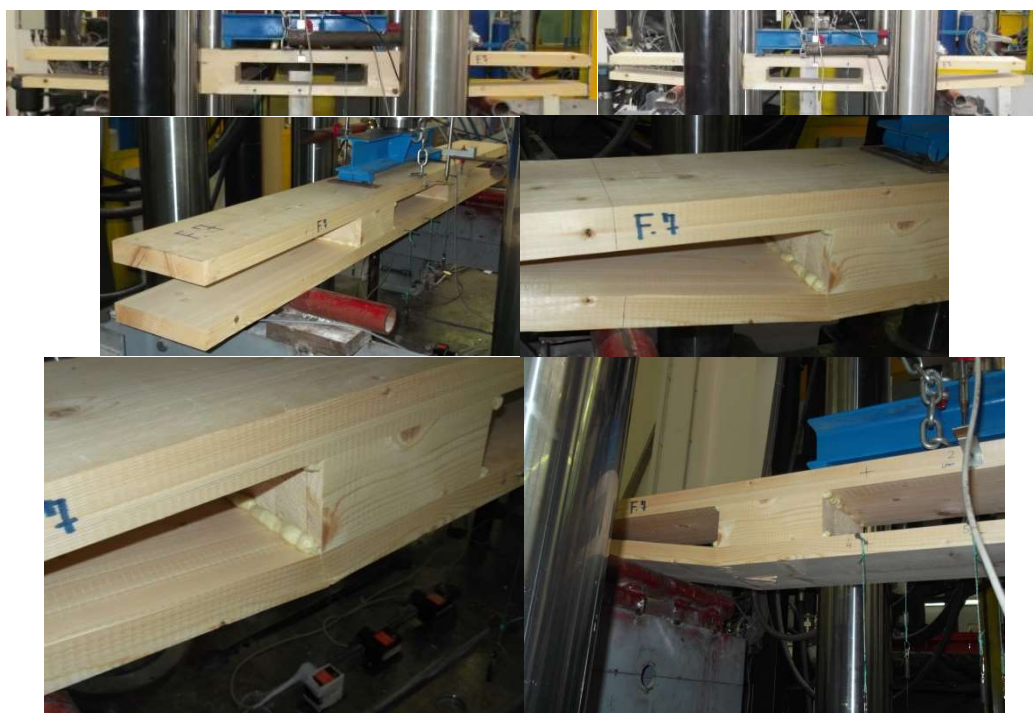


Fig. 5.398 Foto Provino F7

PROVINO F8

Il **provino F8** presenta sulla faccia superiore due nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri due molto più grandi e allungati. Il taglio della tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 10 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 5 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 10 kN a cui corrisponde un abbassamento di 5 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 22,5 kN ed un abbassamento ultimo di 22 mm. La rottura che si registra è a trazione per la tavola inferiore. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

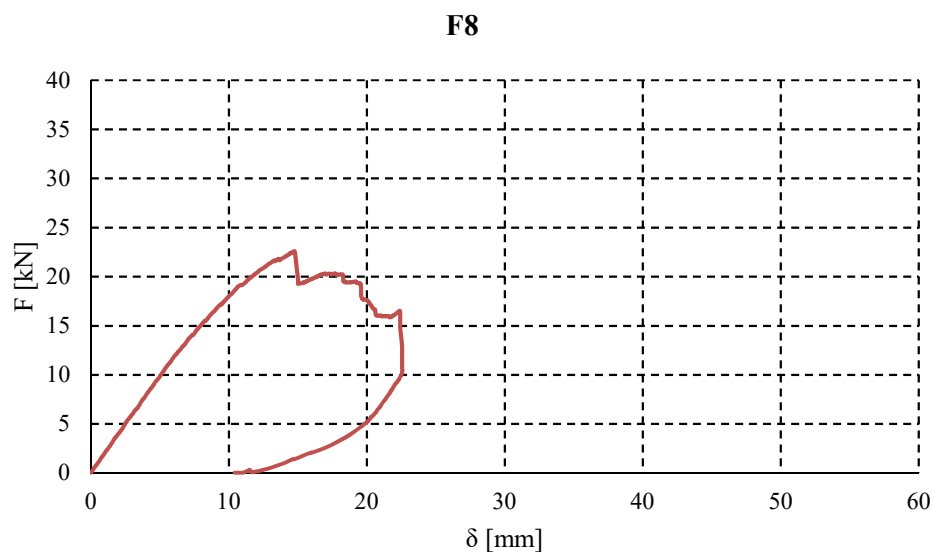


Fig. 5.399 Grafico F- δ provino F8

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	10/10/2013
DIMENSIONI PROVINO	2000X220X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso austriaco
	FACCIA SUP : 2
	FACCIA INF : 2
DIFETTI RILEVATI	ESTREMO DX : /
	ESTREMO SX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	10 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

FORZA [Kn]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
10	5	ELASTICA
22,5	22	ULTIMA
TIPOLOGIA DI ROTTURA trazione della tavola inferiore		

Tab. 5.161 Scheda riepilogativa provino F8



Fig. 5.400 Foto Provino F8

PROVINO F9

Il **provino F9** presenta sulla faccia superiore due nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri due molto più grandi e allungati. Il taglio della tavola è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 10 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 4 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 10 kN a cui corrisponde un abbassamento di 4 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 37,5 kN ed un abbassamento ultimo di 45 mm. La rottura che si registra è a trazione per la tavola inferiore. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

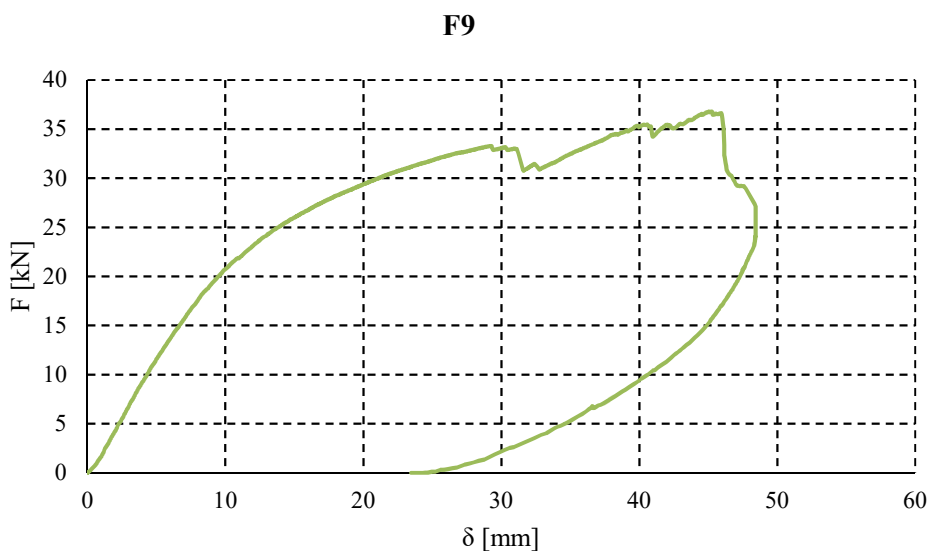


Fig. 5.401 Grafico F- δ provino F9

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	10/10/2013
DIMENSIONI PROVINO	2000X220X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso austriaco
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 2
	FACCIA INF : 2
	ESTREMO DX : /
TIPO DI PROVA	ESTREMO SX : /
	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	10 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

FORZA [Kn]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
10	4	ELASTICA
37,5	45	ULTIMA
TIPOLOGIA DI ROTTURA trazione della tavola inferiore		

Tab. 5.162 Scheda riepilogativa provino F9



Fig. 5.402 Foto Provino F9

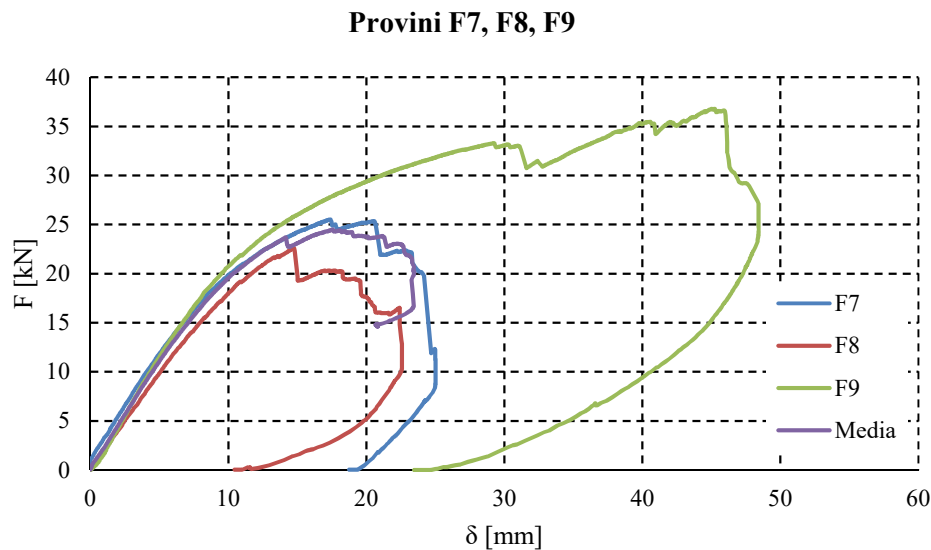


Fig. 5.403 Grafico F- δ provino F7,F8,F9 e media.

Provino	Fu [kN]	δu [mm]
F7	25,5	22
F8	22,5	22
F9	37,5	45
Media	28,5	29,66

Tab. 5.163 Riepilogo terzo gruppo

PROVINO F10

Il **provino F10** presenta sulla faccia superiore due nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri due molto più grandi e allungati. Il taglio della tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 30 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 3 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 30 kN a cui corrisponde un abbassamento di 3 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 90 kN ed un abbassamento ultimo di 21 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e i collegamenti di legno che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento in verticale di 10 mm su entrambi i lati. La rottura che si registra è a taglio per i collegamenti in legno ed a

trazione per la tavola inferiore. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

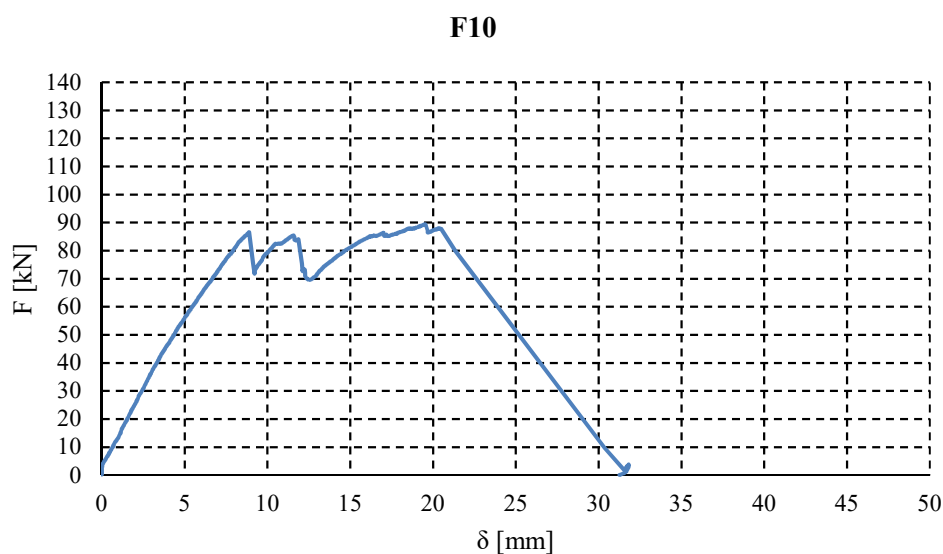


Fig. 5.403 Grafico F-δ provino F10

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	10/10/2013
DIMENSIONI PROVINO	2000X220X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso austriaco
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 2
	FACCIA INF : 2
	ESTREMO DX : /
	ESTREMO SX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	10 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

FORZA [Kn]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
30	3	ELASTICA
90	21	ULTIMA

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dei collegamenti ed a trazione della tavola inferiore

Tab. 5.164 Scheda riepilogativa provino F10



Fig. 5.404 Foto Provino F10

PROVINO F11

Il **provino F11** presenta sulla faccia superiore due nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri due molto più grandi e allungati. Il taglio della tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 30 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 2,5 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 30 kN a cui corrisponde un abbassamento di 2,5 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 102,5 kN ed un abbassamento ultimo di 31 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola ed i collegamenti lignei che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento in verticale di 11 mm su entrambi i lati. La rottura che si registra è a taglio per i collegamenti ed a

trazione per la tavola inferiore. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

F11

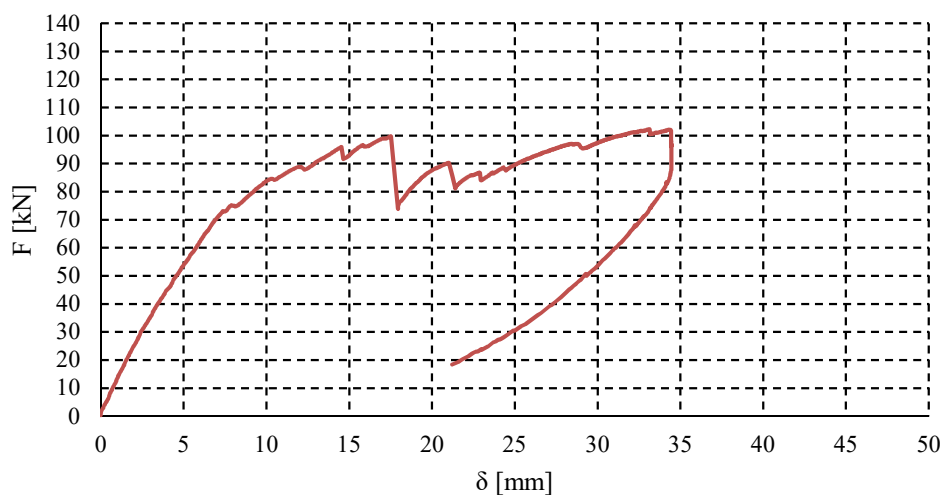


Fig. 5.405 Grafico F- δ provino F11

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	10/10/2013
DIMENSIONI PROVINO	2000X220X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso austriaco
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SUP : 2
	FACCIA INF : 2
	ESTREMO DX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	10 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

FORZA [Kn]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
30	2,5	ELASTICA
102,5	31	ULTIMA

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dei collegamenti lignei ed a trazione della tavola inferiore

Tab. 5.165 Scheda riepilogativa provino F11



Fig. 5.406 Foto Provino F11

PROVINO F12

Il **provino F10** presenta sulla faccia superiore due nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri due molto più grandi e allungati. Il taglio della tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare. Si riporta, di seguito, il diagramma Forza-spostamento in mezzeria.

Durante la prova, è stata registrata la prima fessura all’attingimento del valore di forza di 30 kN con un corrispondente abbassamento in mezzeria di 2,1 mm. Dal diagramma dei dati registrati in mezzeria, si evince un comportamento elasto-fragile della tavola: si registra un tratto lineare fino ad una forza di 30 kN a cui corrisponde un abbassamento di 2,1 mm dopodiché il diagramma subisce dei piccoli salti (a causa della progressiva rottura delle fibre di legno) fino al raggiungimento della forza massima, 136,5 kN ed un abbassamento ultimo di 40 mm. Durante la prova si è aperta una fessura nella zona tra la tavola e i collegamenti lignei che si è allargata progressivamente, provocando uno scorrimento in verticale di 8 mm su entrambi i lati. La rottura che si registra è a taglio per i collegamenti lignei ed a trazione per la tavola inferiore. Da notare è l’effetto timbro del coltello di carico sul provino. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica.

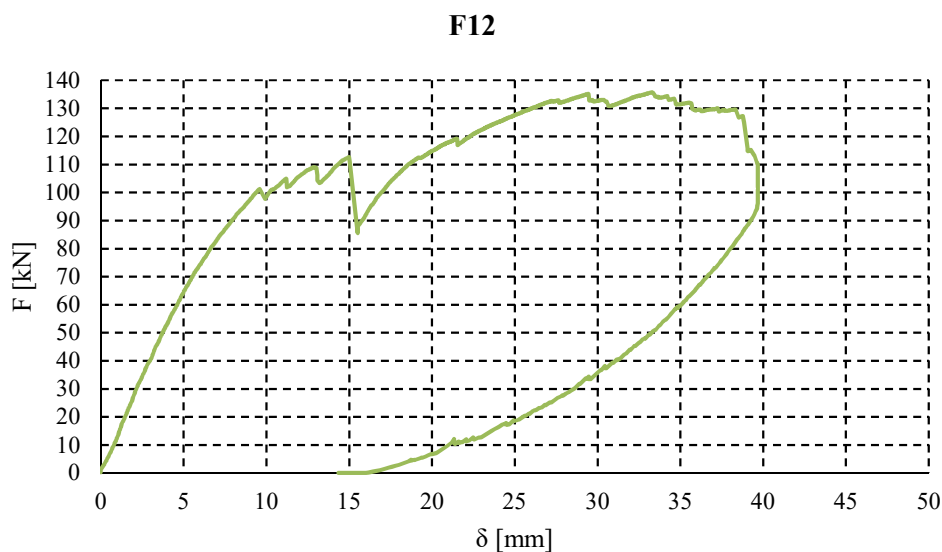


Fig. 5.407 Grafico F- δ provino F12

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	10/10/2013
DIMENSIONI PROVINO	2000X220X160 mm
MATERIALE DEL PROVINO	Abete rosso austriaco
FACCIA SUP : 2	
FACCIA INF : 2	
DIFETTI RILEVATI	ESTREMO DX : /
	ESTREMO SX : /
TIPO DI PROVA	Prova a flessione (su 4 punti forza)
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza flessionale, resistenza ultima)
VELOCITA' PROVA	10 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO (in mezzeria)

FORZA [Kn]	ABBASSAMENTO w[mm]	CONDIZIONE
30	2,1	ELASTICA
136,5	40	ULTIMA

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dei collegamenti lignei e a trazione della tavola inferiore

Tab. 5.166 Scheda riepilogativa provino F12



Fig. 5.408 Foto Provino F12

Riepilogo dei provini con collegamenti lignei incollati sopra e sotto

Provino F10, F11, F12

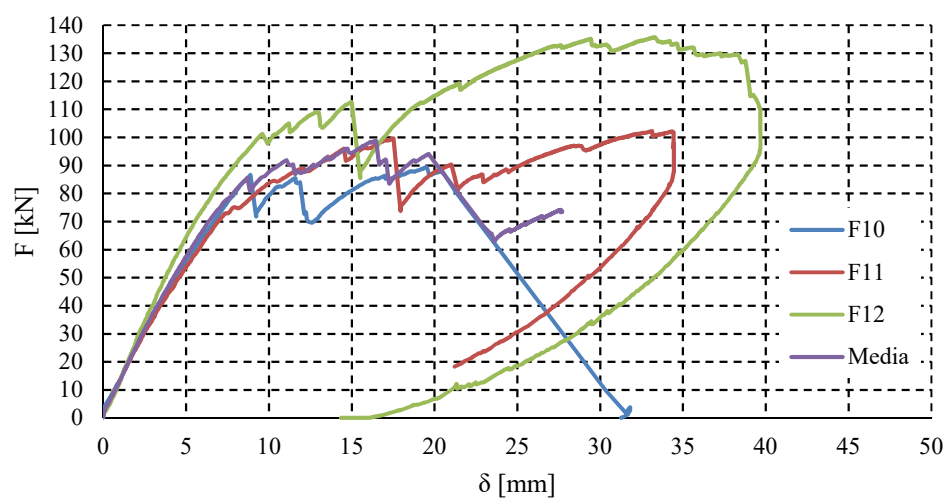


Fig. 5.409 Grafico F- δ provino F10,F12,F12 e media.

Provino	F_u [kN]	δ_u [mm]
F10	90	21
F11	102,5	31
F12	136,5	40
Media	109,6	30,6

Tab. 5.167 Riepilogo quarto gruppo

Confronti

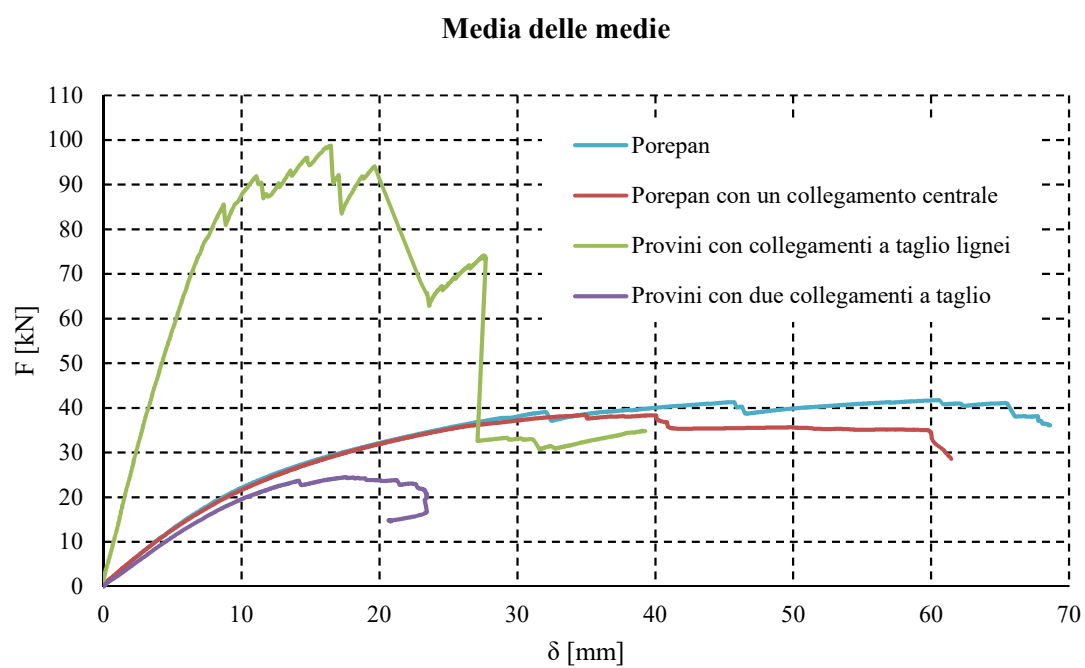


Fig. 5.410 Grafico F - δ media delle medie

5.12 Prove su pannelli collegati (GRUPPO Z)

Al fine di investigare il reale comportamento dei collegamenti tra i diversi pannelli che rivestono un ruolo fondamentale per questa tipologia costruttiva, in quanto nasce dall'affiancamento di tanti pannelli accostati l'uno all'altro, sono state effettuate delle prove a flessione su tre punti forza secondo lo schema di fig. 5.411, collegando tra loro due pannelli. Tutti i pannelli appartengono al gruppo Z e sono ulteriormente suddivisi in quattro sottogruppi: *P.C_a*, *P.C_b*, *P.C_c*, *P.C_d*. Ogni sottogruppo è costituito da due provini, per ognuno dei quali cambia il tipo di collegamento realizzato. Solo il sottogruppo *P.C_b* è costituito da un solo provino.

I vari pannelli sono così realizzati:

- Il primo sottogruppo, *P.C_a*, fa riferimento ad un collegamento ligneo disposto ortogonalmente alla direzione dei pannelli, in questo caso il collegamento sarà sollecitato con sforzi di trazione ortogonali alla fibratura;
- Il secondo sottogruppo, *P.C_b*, fa riferimento ad un collegamento ligneo disposto parallelamente alla direzione dei pannelli, in questo caso il collegamento sarà sollecitato con sforzi di trazione paralleli alla fibratura;
- Il terzo sottogruppo, *P.C_c*, fa riferimento ad un collegamento in acciaio mediante un profilo scatolare cavo di spessore pari a 5 mm;
- Il quarto sottogruppo, *P.C_d*, fa riferimento a quattro pannelli accoppiati a due a due e collegati per mezzo di un unione lignea disposta alternativamente in modo parallelo e ortogonale alla fibratura con viti passanti.

Per i primi tre sottogruppi il collegamento è stato realizzato prima con viti non passanti (numero sigla 1) e poi con viti passanti per tutta la lunghezza del collegamento (numero sigla 2).

Sono state utilizzate 16 viti $\phi 6$ lunghe 100 mm per i provini *P.C_a_1*, *P.C_b_1* e *P.C_c_1*, 8 viti $\phi 6$ lunghe 160mm per i casi *P.C_a_2*, *P.C_c_2*, *P.C_d_1* e *P.C_d_2*, mentre per i casi *P.C_d_1* e *P.C_d_1* sono state impiegate 4 viti $\phi 6$ lunghe 200 mm come elemento di collegamento tra i due pannelli in testa.

Si ricorda che i pannelli lignei sono di Abete austriaco di classe C24 e che sono state rispettate le distanze minime tra le viti riportate nelle CNR DT 206/2007.

Set-up di prova

Per ottenere dei buoni risultati di prova, si è fatta particolare attenzione sia al posizionamento del provino sotto la macchina, sia nel predisporre tutti gli strumenti di misura necessari all'acquisizione dei dati. Per eliminare qualsiasi eccentricità nell'applicazione al carico, il provino deve essere centrato rispetto all'attuatore e rispetto, quindi, al banco di prova.

Le prove sono state condotte in *controllo di spostamento* (con velocità di prova pari a 10mm/min), ossia viene imposta una legge di spostamento nel tempo e una cella di carico registra il valore della forza corrispondente, la cui configurazione è riportata nelle figure 5.411 e 5.412.

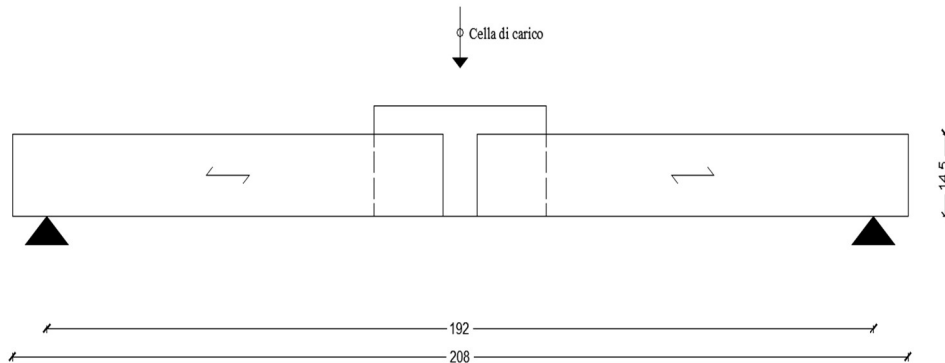


Fig. 5.411 Schema generale di prova

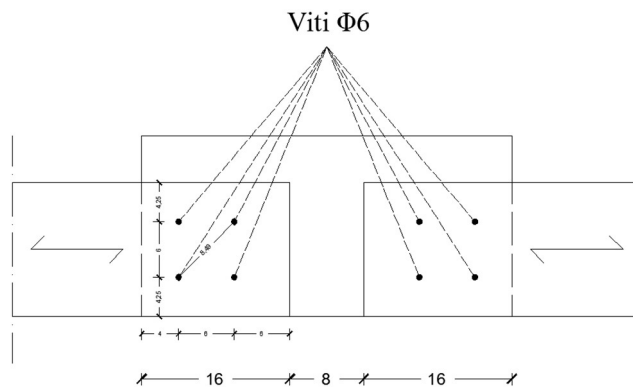


Fig. 5.412 Schema generale del collegamento

Poiché la prova avviene a deformazione controllata, è stato imposto alla macchina la velocità di 10 mm al minuto, mentre i valori della forza vengono registrati direttamente dalla macchina di prova.

I dati di output della strumentazione di prova sono:

- durata della prova [sec];
- abbassamento in mezzeria [mm];
- forza complessiva dell'attuatore [kN].

Da questi dati sono stati utilizzati la forza e l'abbassamento per ottenere i diagrammi F-d.

Suddivisione e dimensioni dei provini

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa contenente le caratteristiche geometriche dei provini testati a flessione e la velocità di prova (Tab. 5.168).

Gruppo	Sottogruppo	Provino	Lunghezza [cm]	Larghezza [cm]	Spessore [cm]	Velocità di prova [mm/min]
Z	P.C_a	P.C_a_1	208	16	14,5	10
		P.C_a_2	208	16	14,5	10
	P.C_b	P.C_b_1	208	16	14,5	10
	P.C_c	P.C_c_1	208	16	14,5	10
		P.C_c_2	208	16	14,5	10
	P.C_d	P.C_d_1	208	16	29	10
		P.C_d_2	208	16	29	10

Tab. 5.168 Caratteristiche geometriche dei provini testati a flessione

Risultati delle prove: Sottogruppo P.C_a

Il primo sottogruppo è costituito dai seguenti provini:

- provino *P.C_a_1* (dimensioni 208x16x14,5 cm);
- provino *P.C_a_2* (dimensioni 208x16x14,5 cm);

Risultati provino *P.C_a_1*

Si riporta, di seguito, lo schema della prova eseguita e il diagramma forza-abbassamento in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.414).

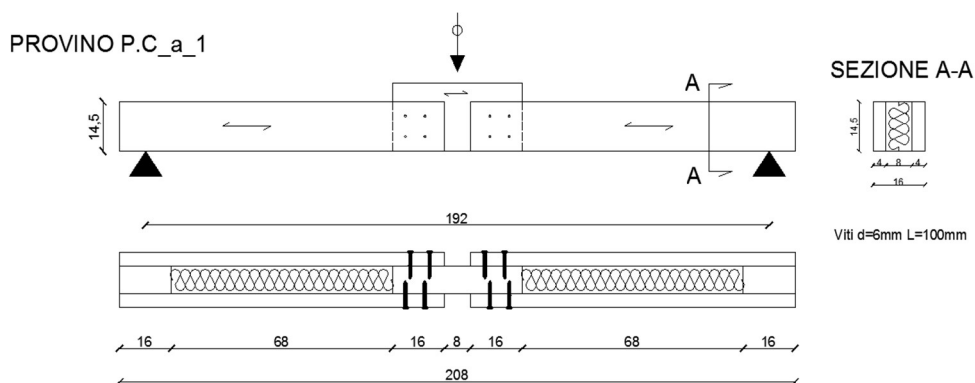


Fig. 5.413 Schema della prova effettuata sul provino *P.C_a_1*

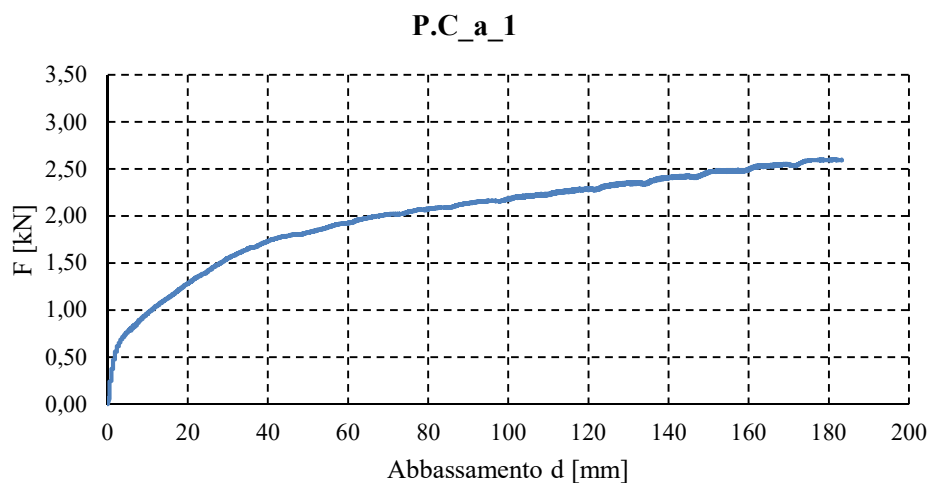


Fig. 5.414 Diagramma forza abbassamento in mezzeria del provino *P.C_a_1*

Durante la prova si registra un primo, seppur piccolo, tratto con comportamento quasi elastico lineare, corrispondente a valori di forza e abbassamento molto piccoli, dell'ordine rispettivamente di circa 0,30 kN e 1 mm. A questa prima fase segue, fino a completamento della prova, un comportamento marcatamente non lineare con continuo degrado della rigidità. Ciò comporta che a seguito di piccoli incrementi di carico gli abbassamenti registrati sono notevoli. Si giunge a fine prova con valori ultimi di forza e abbassamento pari rispettivamente a $F_{\max} = 2,60$ kN e $d = 183,18$ mm a cui corrisponde una crisi del collegamento dovuta al rifollamento del legno.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.169) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.415).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	208x16x14,5 mm
MATERIALE	Abete austriaco ed viti
TIPO DI PROVA	Prova a flessione
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza del collegamento e della tipologia di rottura
DURATA DELLA PROVA	1120 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione
2,60	183,18	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rifollamento del legno.

Tab. 5.169 Scheda riepilogativa provino *P.C_a_1*

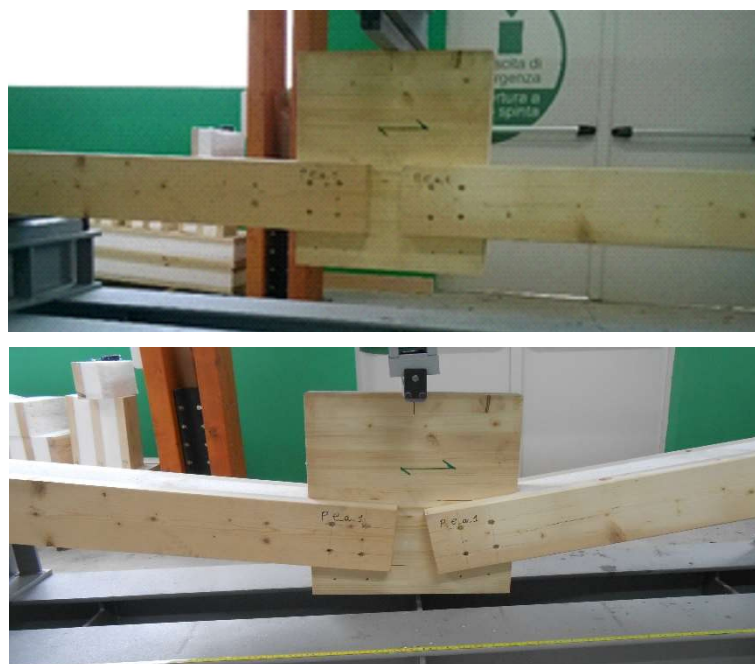


Fig. 5.415 Provino *P.C_a_1* ad inizio e fine prova

Risultati provino P.C_a_2

Si riporta, di seguito, lo schema della prova eseguita e il diagramma forza-scorrimento e tensione - scorrimento in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.417).

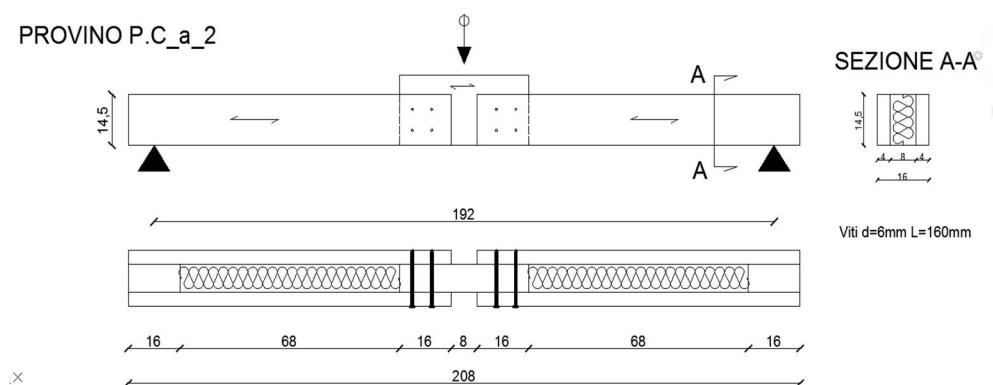


Fig. 5.416 Schema della prova effettuata sul provino *P.C_a_2*

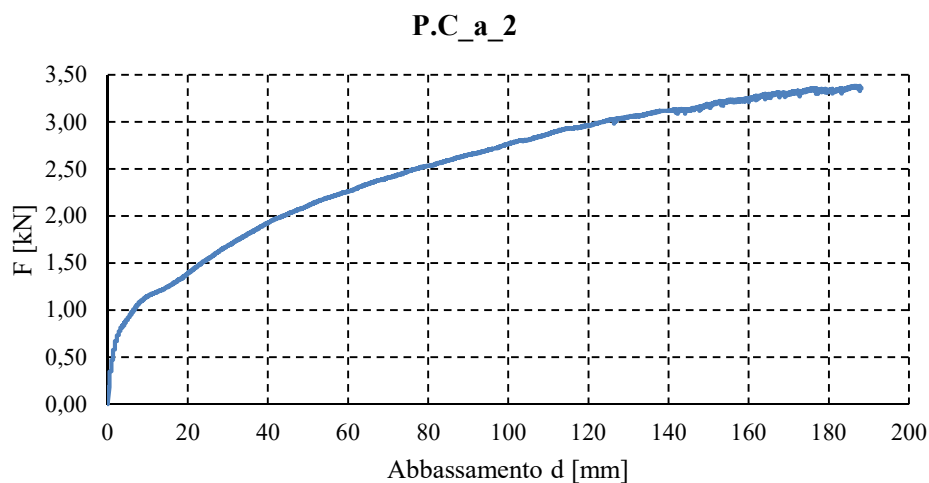


Fig. 5.417 Diagramma forza abbassamento in mezzeria del provino *P.C_a_2*

Durante la prova si registra un primo, seppur piccolo, tratto con comportamento quasi elastico lineare corrispondente a valori di forza e abbassamento molto piccoli dell'ordine rispettivamente di circa 0,30 kN e 1 mm. A questa prima fase segue, fino a completamento della prova, un comportamento marcatamente non lineare con continuo degrado della rigidità. Ciò comporta che a seguito di piccoli incrementi di carico gli abbassamenti registrati sono notevoli. Si giunge a fine prova con valori ultimi di forza e abbassamento pari rispettivamente a $F_{\max} = 3,36$ kN e $d = 188,18$ mm a cui corrisponde una crisi del collegamento dovuta al rifollamento del legno.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.170) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.418).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	208x16x14,5 mm
MATERIALE	Abete austriaco ed viti
TIPO DI PROVA	Prova a flessione
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza del collegamento e della tipologia di rottura
DURATA DELLA PROVA	1151 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione
3,36	188,18	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rifollamento del legno.

Tab. 5.170 Scheda riepilogativa provino *P.C_a_2*

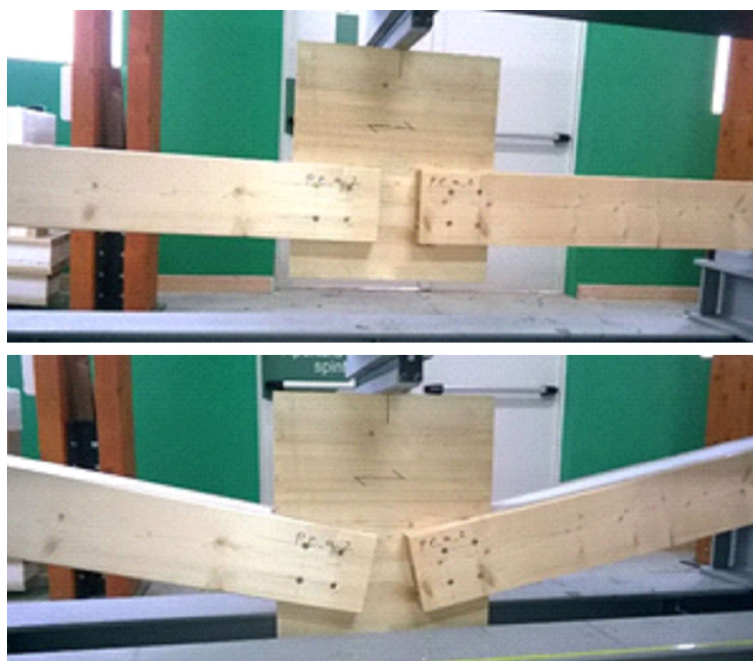


Fig. 5.418 Provino *P.C_a_2* ad inizio e fine prova

Alcune brevi considerazioni sul primo sottogruppo di provini

Dalle prove effettuate risulta per entrambi i provini un primo tratto con comportamento quasi elastico lineare anche se ciò accade per bassi valori di forza e abbassamento. Seguono poi, fino a completamento della prova, comportamenti marcatamente non lineari con valori di F_{\max} pari rispettivamente a 2,60 e 3,36 kN e relativi abbassamenti di 183,18 e 188,18 mm.

Il diverso valore di F_{\max} è dovuto al diverso modo in cui è stato realizzato il collegamento. E' possibile quindi affermare che il collegamento con viti passanti offre, a parità di abbassamenti, prestazioni migliori sia in termini di F_{\max} che di rigidezza.

Quanto appena riportato è meglio rappresentato dal grafico di seguito riportato.

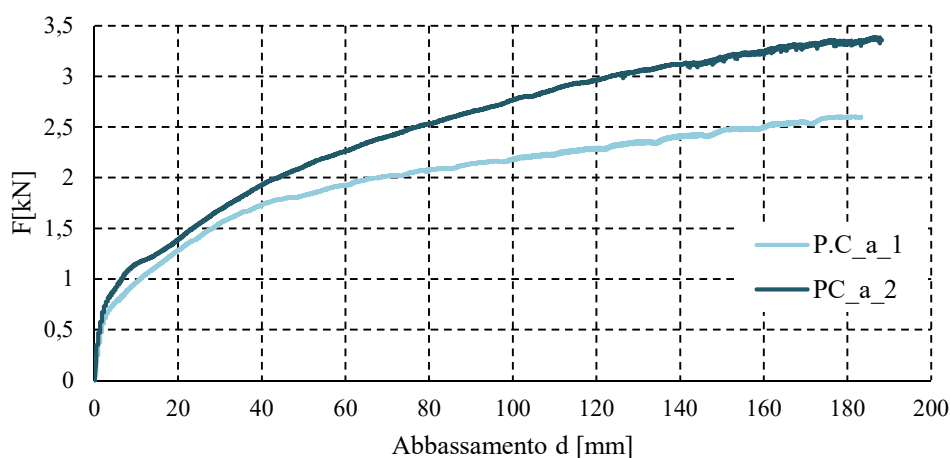


Fig. 5.419 Diagramma forza abbassamento in mezzeria dei provini *P.C_a_1* e *P.C_a_2*

Risultati delle prove: Sottogruppo P.C_b

Il secondo sottogruppo è costituito dal seguente provino:

- provino *P.C_b_1* (dimensioni 208x16x14,5 cm);

Risultati provino P.C_b_1

Si riporta, di seguito, lo schema della prova eseguita e il diagramma forza-abbassamento in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.421).

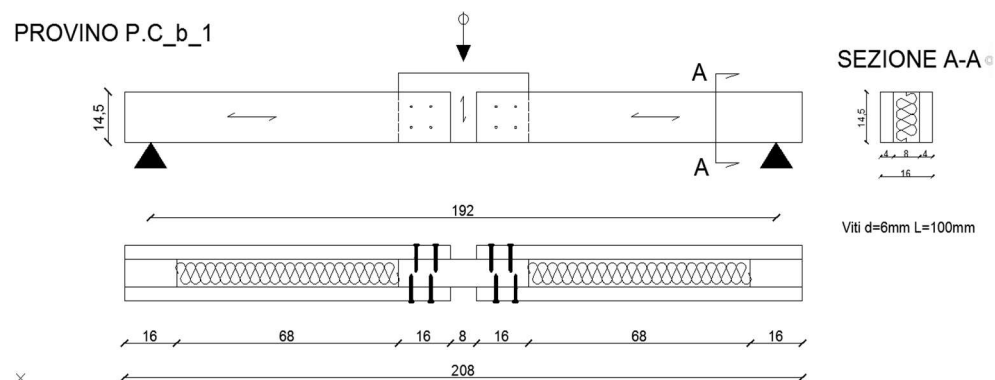


Fig. 5.420 Schema della prova effettuata sul provino *P.C_b_1*

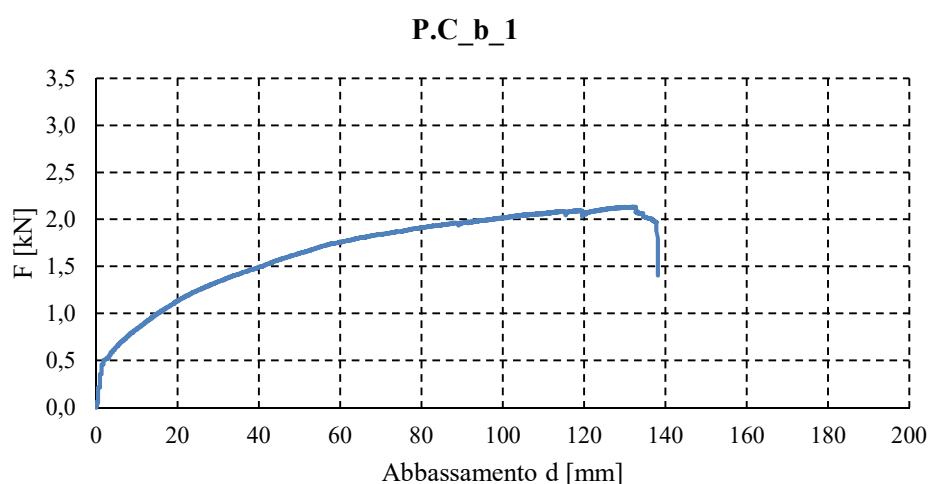


Fig. 5.421 Diagramma forza abbassamento in mezzeria del provino *P.C_b_1*

Durante la prova si registra un primo, seppur piccolo, tratto con comportamento quasi elastico lineare, corrispondente a valori di forza e abbassamento molto piccoli, dell'ordine rispettivamente di circa 0,30 kN e 1 mm. A questa prima fase segue, fino a completamento della prova, un comportamento marcatamente non lineare con continuo degrado della rigidità. Ciò comporta che a seguito di piccoli incrementi di carico gli abbassamenti registrati sono notevoli. Si giunge a fine prova con valori ultimi di forza e abbassamento pari rispettivamente a $F_{\max} = 2,13$ kN e $d = 138,18$ mm a cui corrisponde una crisi del collegamento dovuta alla rottura fragile per trazione ortogonale del legno.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.171) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.422).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	208x16x14,5 mm
MATERIALE	Abete austriaco ed viti
TIPO DI PROVA	Prova a flessione
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza del collegamento e della tipologia di rottura
DURATA DELLA PROVA	841 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione
2,13	138,18	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura fragile per trazione ortogonale del legno.

Tab. 5.171 Scheda riepilogativa provino P.C_b_1

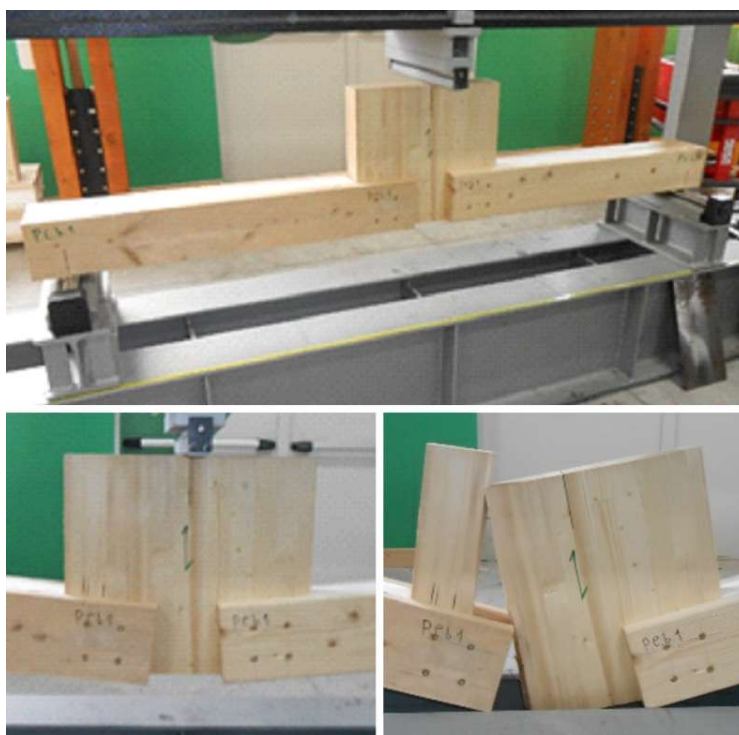


Fig. 5.422 Provino P.C_b_1 ad inizio e fine prova

Alcune brevi considerazioni sul secondo sottogruppo di provini

Dalla prova effettuata risulta un primo tratto con comportamento quasi elastico lineare anche se ciò accade per bassi valori di forza e abbassamento. Segue poi, fino a completamento della stessa, un comportamento marcatamente non lineare con valore di F_{\max} pari a 2,13 e relativo abbassamento di 138,18 mm.

In questo tipo di prova la crisi per rifollamento non si è verificata in quanto il collegamento ligneo è sollecitato con tensioni di trazione ortogonali alla fibratura, direzione lungo la quale il legno ha caratteristiche meccaniche molto basse e presenta rotture di tipo fragile.

Risultati delle prove: Sottogruppo P.C_c

Il terzo sottogruppo è costituito dai seguenti provini:

- provino *P.C_c_1* (dimensioni 208x16x14,5 cm);
- provino *P.C_c_2* (dimensioni 208x16x14,5 cm);

Risultati provino *P.C_c_1*

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.424).

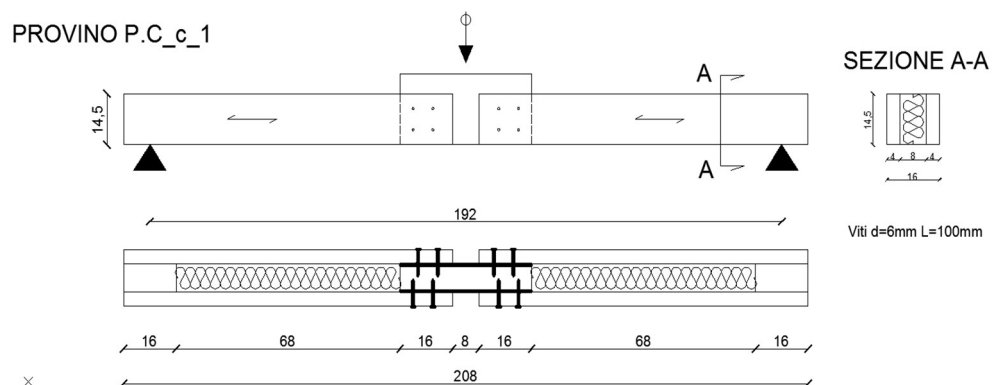


Fig. 5.423 Schema della prova effettuata sul provino *P.C_c_1*

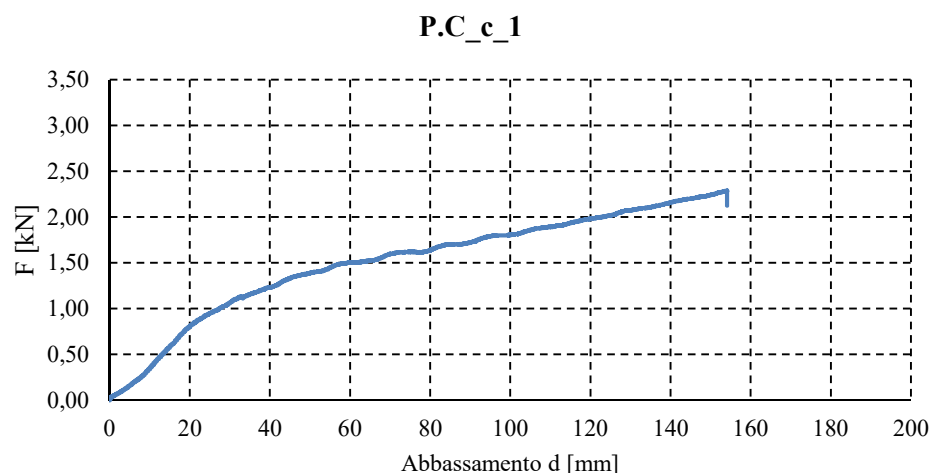


Fig. 5.424 Diagramma forza abbassamento in mezzeria del provino *P.C_c_1*

Durante tutta la prova si registra un comportamento marcatamente non lineare con continuo degrado della rigidità. Ciò comporta che a seguito di piccoli incrementi di carico gli abbassamenti registrati sono notevoli. Si giunge a fine prova con valori ultimi di forza e abbassamento pari rispettivamente a $F_{\max} = 2,13$ kN e $d = 154,09$ mm a cui corrisponde una crisi del collegamento dovuta al rifollamento del legno.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.172) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.425).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	208x16x14,5 mm
MATERIALE	Abete austriaco, scatolare cavo in acciaio e viti
TIPO DI PROVA	Prova a flessione
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza del collegamento e della tipologia di rottura
DURATA DELLA PROVA	956 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione
2,13	154,09	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rifollamento del legno.

Tab. 5.172 Scheda riepilogativa provino *P.C_c_1*

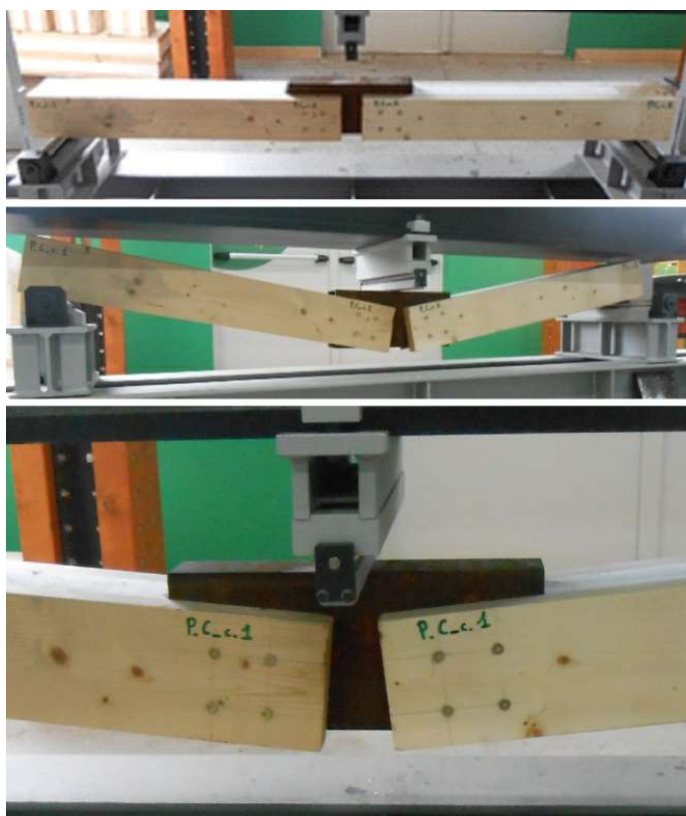


Fig. 5.425 Provino *P.C_c_1* ad inizio e fine prova

Risultati provino P.C_c_2

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-scorrimento e tensione - scorrimento in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.427).

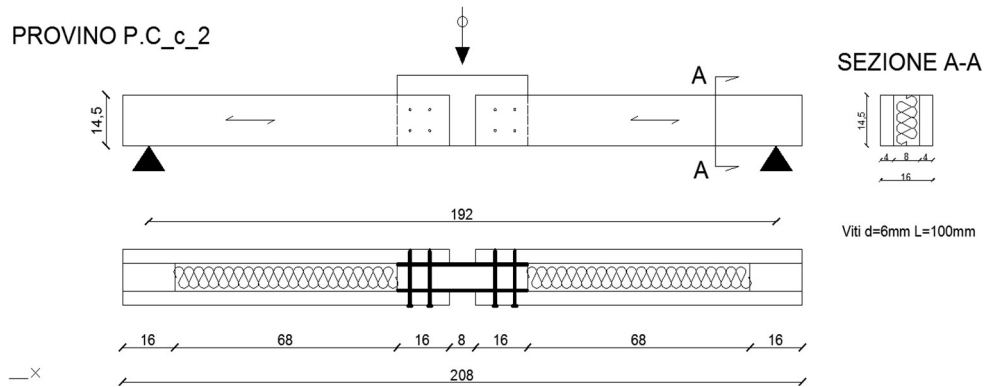


Fig. 5.426 Schema della prova effettuata sul provino P.C_c_2

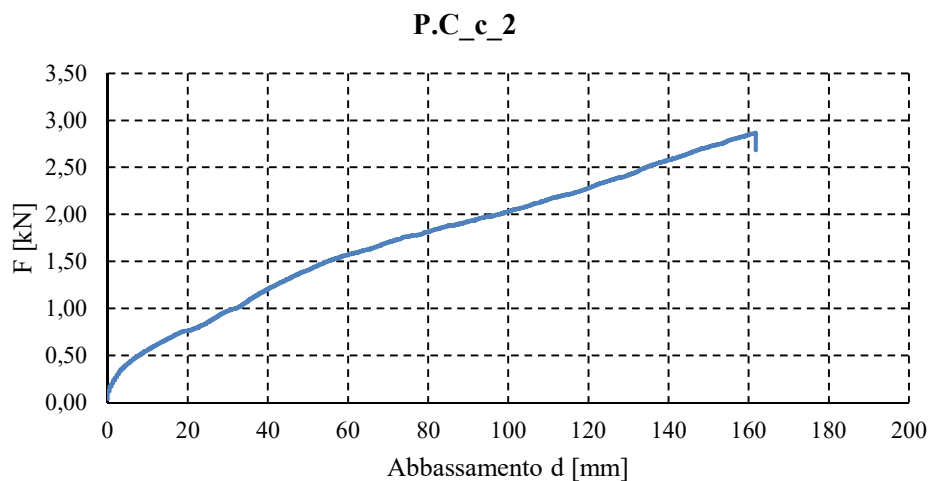


Fig. 5.427 Diagramma forza abbassamento in mezzeria del provino P.C_c_2

Durante tutta la prova si registra un comportamento marcatamente non lineare con continuo degrado della rigidità. Ciò comporta che a seguito di piccoli incrementi di carico gli abbassamenti registrati sono notevoli. Si giunge a fine prova con valori ultimi di forza e abbassamento pari rispettivamente a $F_{\max} = 2,68 \text{ kN}$ e $d = 161,81 \text{ mm}$ a cui corrisponde una crisi del collegamento dovuta al rifollamento del legno.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.173) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.428).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	208x16x14,5 mm
MATERIALE	Abete austriaco, scatolare cavo in acciaio e viti
TIPO DI PROVA	Prova a flessione
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza del collegamento e della tipologia di rottura
DURATA DELLA PROVA	505 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione
2,68	161,81	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rifollamento del legno.

Tab. 5.173 Scheda riepilogativa provino P.C_c_2

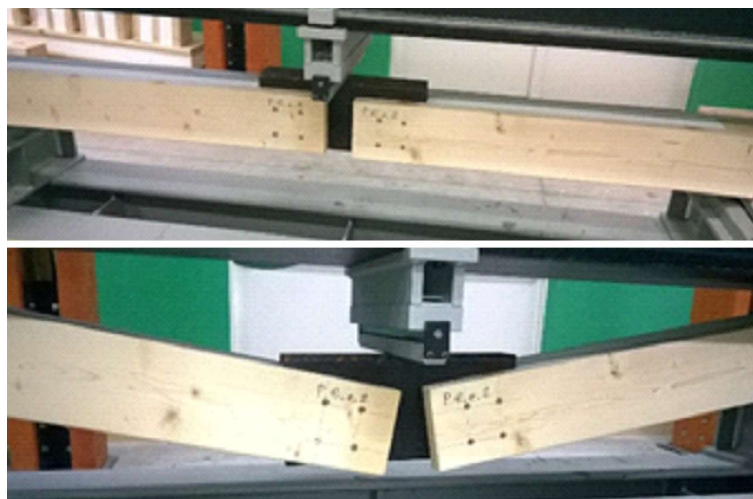


Fig. 5.428 Provino P.C_c_2 ad inizio e fine prova

Alcune brevi considerazioni sul terzo sottogruppo di provini

Dalle prove effettuate risulta un comportamento non lineare fino a completamento della prova. Nonostante le modalità di rottura nei due provini sono le medesime, ovvero crisi per rifollamento del legno, i valori ultimi di forza e abbassamento a cui si attinge sono diversi e pari rispettivamente a $F_{\max} = 2,13 \text{ kN}$ e $d = 154,09 \text{ mm}$ nel primo caso, $F_{\max} = 2,68 \text{ kN}$ e $d = 161,181 \text{ mm}$ nel secondo caso.

Ciò è dovuto al diverso modo in cui è stato realizzato il collegamento, pertanto è possibile affermare che il collegamento con viti passanti offre, a parità di abbassamenti, prestazioni migliori.

Quanto appena riportato è meglio rappresentato dal grafico di seguito riportato.

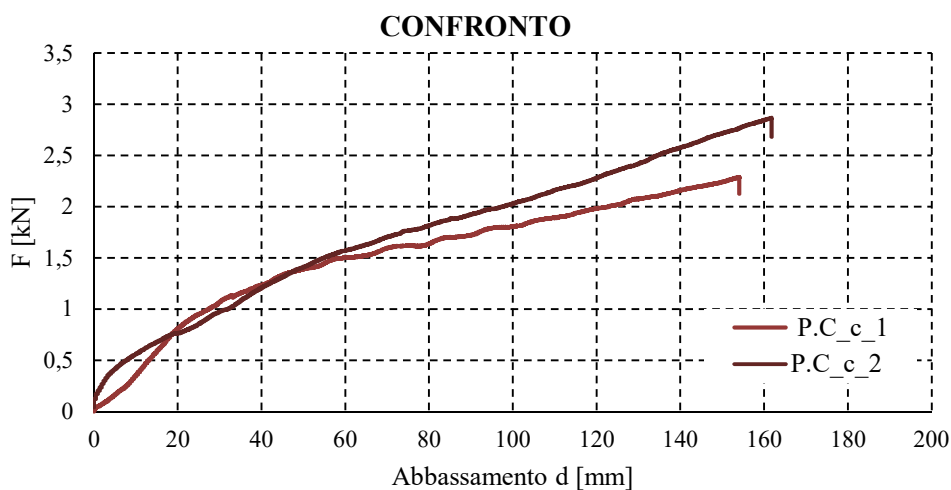


Fig. 5.429 Diagramma forza abbassamento in mezzeria dei provini *P.C_c_1* e *P.C_c_2*

Risultati delle prove: Sottogruppo P.C_d

Il quarto sottogruppo è costituito dai seguenti provini:

- provino *P.C_d_1* (dimensioni 208x16x14,5 cm);
- provino *P.C_d_2* (dimensioni 208x16x14,5 cm);

Risultati provino *P.C_d_1*

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-abbassamento in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.431).

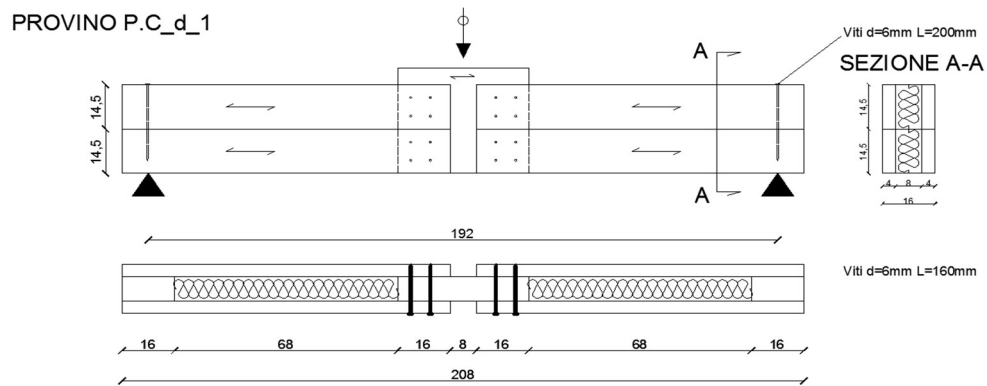


Fig. 5.430 Schema della prova effettuata sul provino *P.C_d_1*

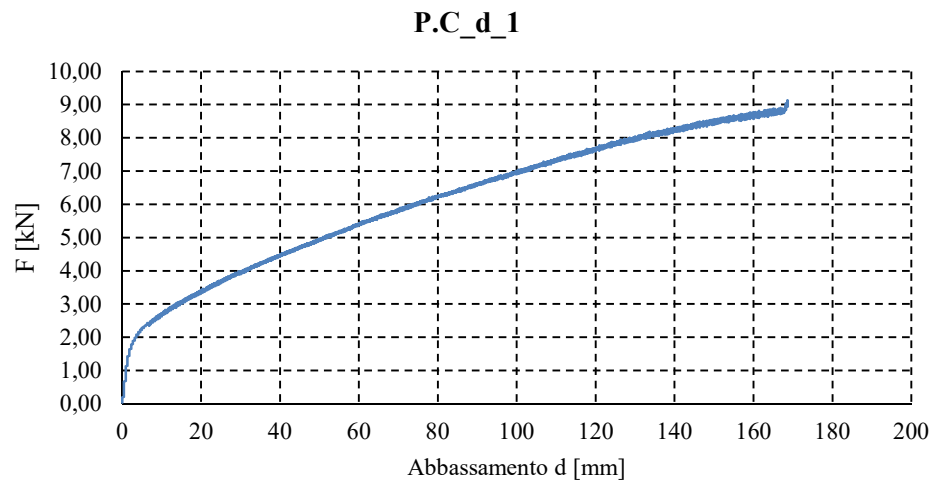


Fig. 5.431 Diagramma forza abbassamento in mezzeria del provino *P.C_d_1*

Durante la prova si registra un primo, seppur piccolo, tratto con comportamento quasi elastico lineare, corrispondente a valori di forza e abbassamento molto piccoli, dell'ordine rispettivamente di circa 1,8 kN e 2,5 mm. A questa prima fase segue, fino a completamento della prova, un comportamento marcatamente non lineare con continuo degrado della rigidezza. Ciò comporta che a seguito di piccoli incrementi di carico gli abbassamenti registrati sono notevoli. Si giunge a fine prova con valori ultimi di forza e abbassamento pari rispettivamente a $F_{\max} = 9,12$ kN e $d = 168,63$ mm a cui corrisponde una crisi del collegamento dovuta al rifollamento del legno.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.174) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.432).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO		
DATA DI PROVA	22/12/2015	
DIMENSIONI	208x16x29 mm	
MATERIALE	Abete austriaco e viti	
TIPO DI PROVA	Prova a flessione	
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza del collegamento e della tipologia di rottura	
DURATA DELLA PROVA	518 secondi	
COMPORTAMENTO DEL PROVINO		
carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione
9,12	168,63	Ultima
TIPOLOGIA DI ROTTURA		
Rifollamento del legno.		

Tab. 5.174 Scheda riepilogativa provino P.C_d_1



Fig. 5.432 Provino P.C_d_1 ad inizio e fine prova

Risultati provino P.C_d_2

Si riporta, di seguito, il diagramma forza-scorrimento e tensione - scorrimento in base ai dati registrati dalla macchina (Fig. 5.434).

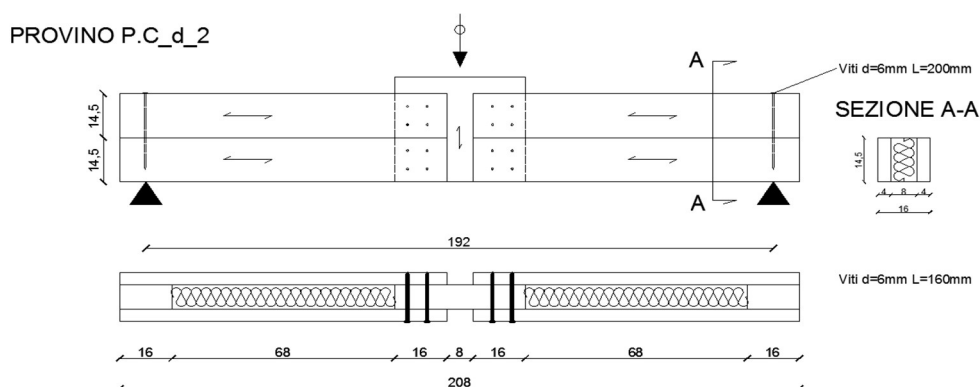


Fig. 5.433 Schema della prova effettuata sul provino P.C_d_2

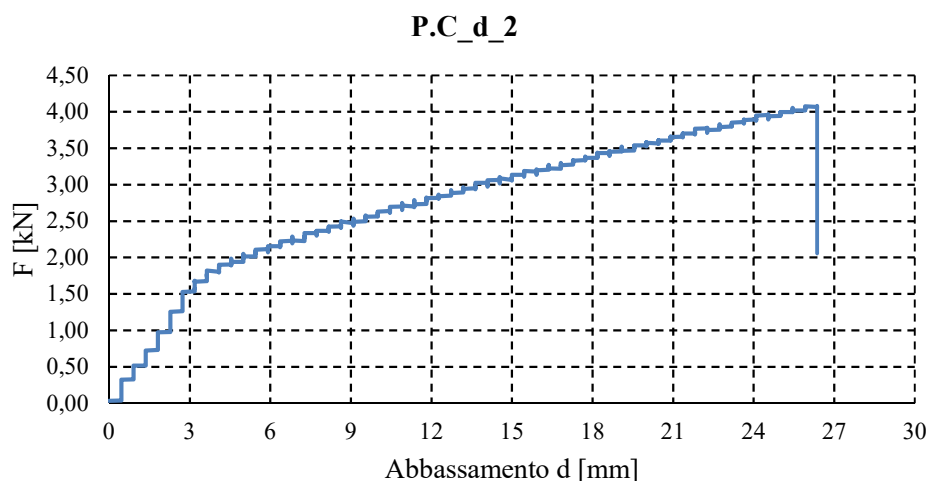


Fig. 5.434 Diagramma forza abbassamento in mezzeria del provino P.C_d_2

Durante la prova si registra un primo, seppur piccolo, tratto con comportamento quasi elastico lineare, corrispondente a valori di forza e abbassamento molto piccoli, dell'ordine rispettivamente di circa 1,5 kN e 2,8 mm. A questa prima fase segue fino a completamento della prova un comportamento marcatamente non lineare con continuo degrado della rigidità. Ciò comporta che a seguito di piccoli incrementi di carico gli abbassamenti registrati sono notevoli. Si giunge a fine prova con valori ultimi di forza e abbassamento pari rispettivamente a $F_{\max} = 4,06$ kN e $d = 26,36$ mm a cui corrisponde una crisi del collegamento dovuta alla trazione ortogonale alla fibratura.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.175) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.435).

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	22/12/2015
DIMENSIONI	208x16x29 mm
MATERIALE	Abete austriaco e viti
TIPO DI PROVA	Prova a flessione
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della resistenza del collegamento e della tipologia di rottura
DURATA DELLA PROVA	80 secondi

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico F_{\max} [kN]	abbassamento $w_{F_{\max}}$ [mm]	Condizione
2,06	26,36	Ultima

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura fragile per trazione ortogonale alla fibratura.

Tab. 5.175 Scheda riepilogativa provino P.C_d_2



Fig5.435 Provino *P.C_d_2* a inizio e fine prova

Alcune brevi considerazioni sul quarto sottogruppo di provini

Dalle prove effettuate risulta un primo tratto, seppur piccolo, con comportamento quasi elastico lineare a cui segue, fino a completamento della prova, un comportamento marcatamente non lineare con valori di F_{\max} pari rispettivamente a 9,12 e 4,06 kN e relativi abbassamenti di 168,63 e 26,26 mm. Il diverso valore di F_{\max} è dovuto al diverso modo in cui è stato realizzato il collegamento. E' possibile quindi affermare che il collegamento con la direzione della fibratura del pannello ligneo parallela a quella dei pannelli POREPAN collegati offre prestazioni decisamente migliori. Quanto appena riportato è meglio rappresentato dal grafico di seguito riportato.

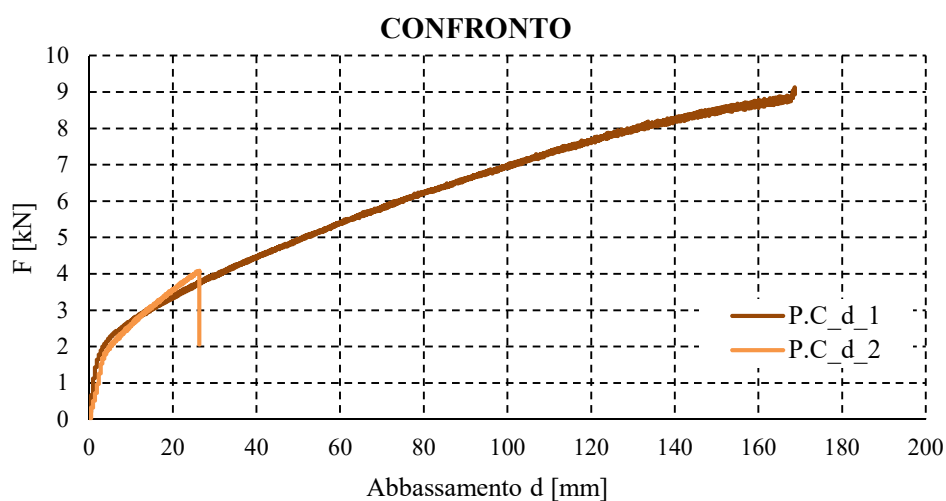


Fig. 5.436 Diagramma forza abbassamento in mezzeria dei provini *P.C_d_1* e *P.C_d_2*

5.13 Prove di instabilità su pannelli lignei (GRUPPO A)

Il programma di prove ha previsto l'esecuzione di n.10 prove a carico di punta su pannelli lignei di Abete Austriaco (di classe C24) di dimensioni circa 270x20x16 cm (LxBxS) al fine di determinare il modulo elastico e la tensione critica di instabilità.

Tutte le prove sono state eseguite con velocità di 0,5 mm/min. L'apparecchio di prova utilizzato è la macchina universale dell'Italsigma già descritta nel Capitolo 3 ("Descrizione delle macchine di prova"). Essendo legno strutturale, sono presenti difetti quali nodi, deviazione della fibratura, fratture interne che influenzano, a seconda della loro posizione, il risultato della prova e, quindi, i valori delle caratteristiche meccaniche.

Il criterio adottato per la determinazione delle dimensioni dei nodi viene riportato nella figura seguente:



Set-up di prova

Per ottenere dei buoni risultati di prova, si è fatta particolare attenzione sia al posizionamento del provino sotto la macchina, sia nel predisporre tutti gli strumenti di misura necessari all'acquisizione dei dati. Per eliminare qualsiasi eccentricità nell'applicazione al carico, il provino deve essere centrato rispetto all'attuatore e rispetto, quindi, al banco di prova.

Di seguito, si riporta, la configurazione di prova con la relativa tabella delle attrezzature necessarie (Fig. 5.437 e Tab. 5.176).

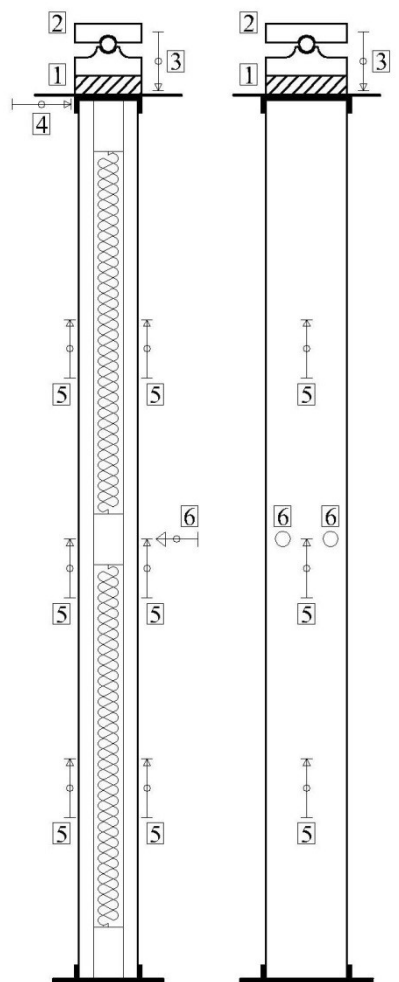


Fig. 5.437 Configurazione di prova (prove di instabilità)

Di seguito si riporta una tabella all'interno della quale viene descritta l'attrezzatura di prova utilizzata.

- | | |
|---|--|
| 1 | Cella di carico |
| 2 | Snodo per consentire la rotazione in testa del provino |
| 3 | n.1 LVDT da 100 mm per misurare l'abbassamento della cella di carico |
| 4 | n.1 LVDT da 100 mm per misurare lo spostamento orizzontale della cella di carico |
| 5 | n.6 LVDT da 50 mm per misurare gli accorciamenti del provino |
| 6 | n.2 misuratori di spostamenti orizzontali (potenziometro a filo) |

Tab. 5.176 Attrezzatura di prova

I dati di output forniti dalla strumentazione di prova sono:

- durata della prova [sec];
- accorciamento [mm];
- forza assiale della cella di carico [kN];
- spostamento laterale [mm].

Da questi dati sono stati ottenuti dei diagrammi forza-spostamento e tensione-deformazione. La tensione, espressa in kg/cm^2 , è stata determinata come rapporto tra la forza applicata e l'area di legno netto mentre la deformazione come rapporto tra l'accorciamento e la lunghezza iniziale del provino.

Inoltre in Figura 5.438 vengono riportate ulteriori attrezzature di prova quali, lo snodo per consentire la rotazione in testa del provino, la base inferiore su cui viene poggiato il provino e la base superiore sulla quale viene posta la cella di carico.

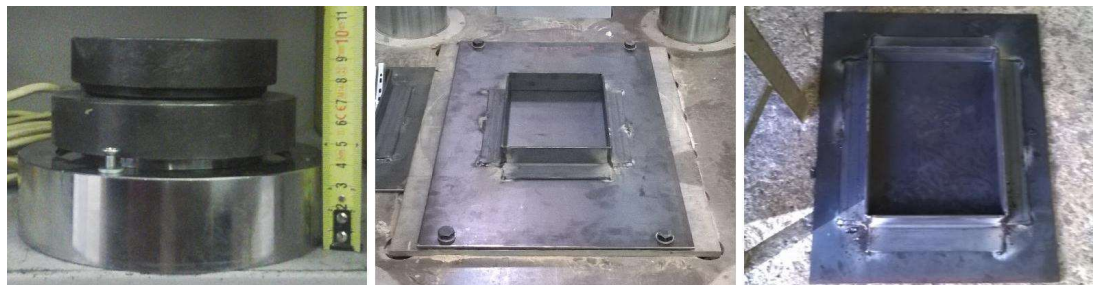


Fig. 5.438 Snodo superiore, base inferiore e superiore

Suddivisione e descrizione dei provini

I provini sono stati suddivisi in cinque gruppi.

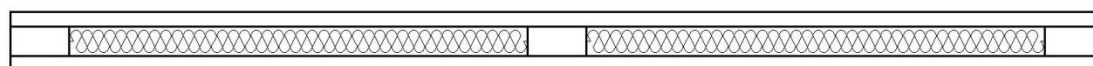
- Il *primo gruppo* contiene provini di legno *Porepan* costituiti da due tavole di spessore 40 mm, interposto isolante di 80 mm e da tre collegamenti lignei puntuali di cui uno posto al centro. Le tavole sono tenute insieme all'isolante grazie ad una colla con grammatura di 180 g/m² ed una pressione di incollaggio di 4 kg/cm².
- Il *secondo gruppo* contiene provini di legno *Porepan* costituiti da due tavole di spessore 40 mm, interposto isolante di 80 mm e da tre collegamenti lignei puntuali di cui uno posto a 220 cm dalla base inferiore. Le tavole sono incollate ai collegamenti lignei da una colla con grammatura di 180 g/m² ed una pressione di incollaggio di 4 kg/cm².
- Il *terzo gruppo* contiene un solo provino ligneo costituito da due tavole di spessore 40 mm (senza isolante interposto) e tre collegamenti lignei puntuali di cui uno posto al centro. Le tavole sono incollate ai collegamenti lignei da una colla con grammatura di 180 g/m² ed una pressione di incollaggio di 4 kg/cm².
- Il *quarto gruppo* contiene un solo provino costituito da due tavole di spessore 40 mm, interposto isolante di 80 mm e tre collegamenti lignei puntuali di cui uno posto al centro. Le tavole sono incollate ai collegamenti lignei da una colla con grammatura di 180 g/m² ed una pressione di incollaggio di 4 kg/cm² e da bulloni $\phi 10$.
- Il *quinto gruppo* contiene un solo provino in legno lamellare costituito da quattro tavole di spessore 40 mm incollate tra loro mediante una colla con grammatura di 180 g/m² ed una pressione di incollaggio di 4 kg/cm².

Si riporta, di seguito, una tabella riepilogativa contenente le caratteristiche geometriche dei provini testati e la velocità di prova (Tab. 5.178).

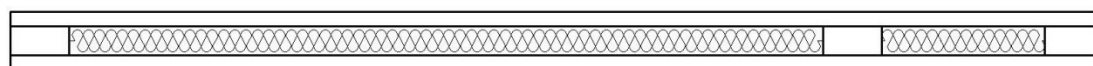
Gruppo	Provino	Altezza [cm]	Larghezza [cm]	Spessore [cm]	Grammatura [g/m ²]	P _{incol} [kg/cm ²]	Velocità di prova [mm/min]
1° Gruppo	P.I.0	265,5	22,5	16,2	180	4	0,5
	P.I.1	267,5	22,5	16,2	180	4	0,5
	P.I.2	267,3	22,5	16,2	180	4	0,5
	P.I.3	267,0	22,5	16,2	180	4	0,5
2° Gruppo	P.I.4	265,1	22,5	16,2	180	4	0,5
	P.I.5	267,0	22,5	16,2	180	4	0,5
	P.I.6	266,8	22,5	16,2	180	4	0,5
3° Gruppo	P.I.7	270,0	20,0	16,0	180	4	0,5
4° Gruppo	P.I.8	270,0	20,0	16,0	180	4	0,5
5° Gruppo	P.I.9	270,0	20,0	16,0	180	4	0,5

Tab. 5.178 Caratteristiche geometriche dei pannelli

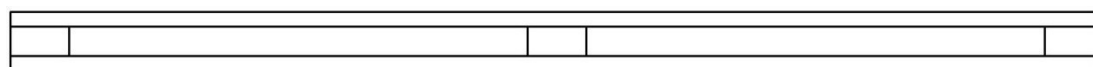
Di seguito si riporta la tipologia dei cinque gruppi di provini (Fig. 5.439).



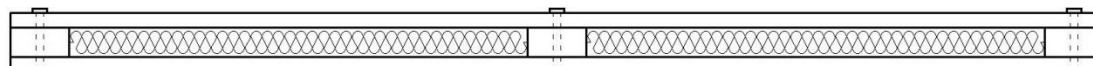
primo gruppo (n.4 pannelli con collegamento centrale)



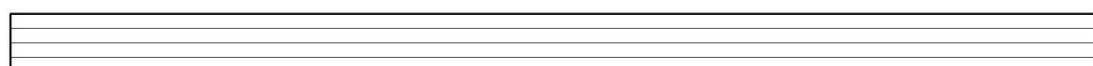
secondo gruppo (n.3 pannelli con collegamento posto a 220 cm dalla base)



terzo gruppo (n.1 pannello con collegamento centrale senza eps interposto)



quarto gruppo (n.1 pannello con collegamento centrale e bulloni)



quinto gruppo (n.1 pannello in legno lamellare)

Fig. 5.439 Tipologia dei cinque gruppi provini

Di seguito si riportano le foto di inizio e fine prova dei cinque gruppi di provini testati a carico di punta (Fig. 5.440 e 5.441).



Fig. 5.440 Foto inizio prova dei cinque gruppi di provini

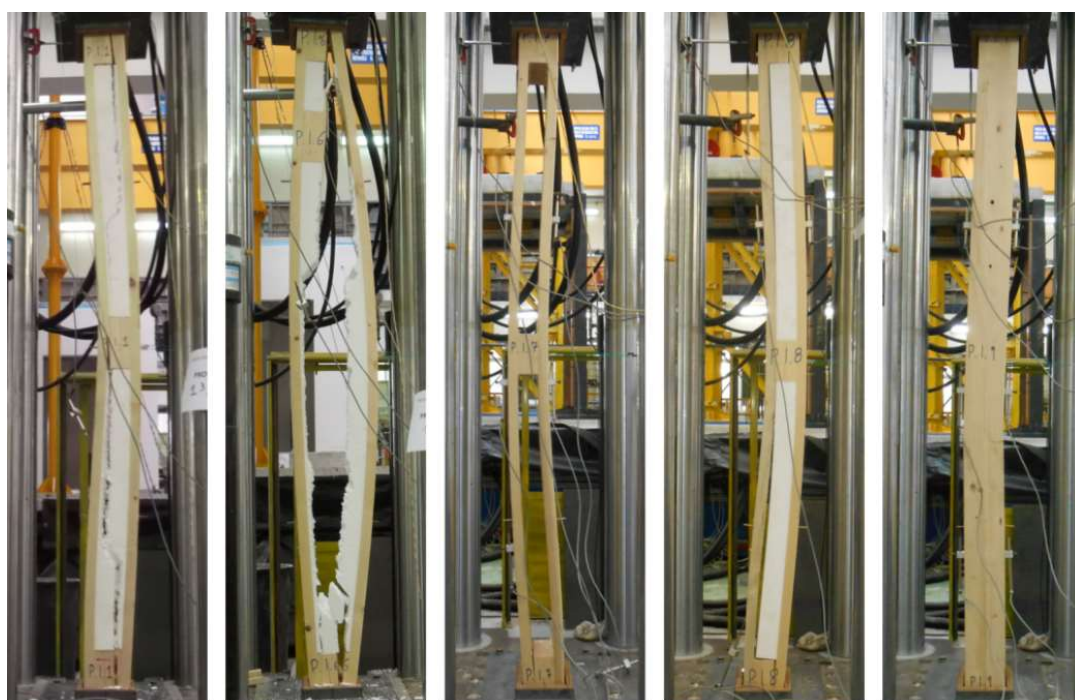


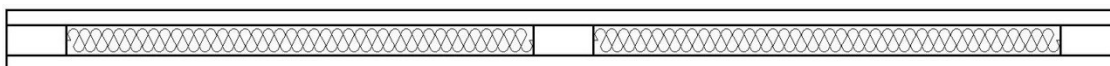
Fig. 5.441 Foto fine prova dei cinque gruppi di provini

Risultati delle prove: primo gruppo

Il primo gruppo è costituito dai seguenti provini:

- provino P.I.0;
- provino P.I.1;
- provino P.I.2;
- provino P.I.3.

Risultati provino P.I.0 (dimensioni 265,5x22,5x16,2 cm)



Il provino P.I.0 presenta sulla faccia di destra tredici nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri sei nodi grandi e allungati. Il taglio della tavola è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare.

Si riportano, di seguito, i diagrammi forza-accorciamento, σ - ε e forza-spostamento laterale (Fig. 5.442, 5.443 e 5.444). Il provino mostra un comportamento elastico lineare fino al carico critico di instabilità pari a 355,5 kN, dopo cui si è registrato un abbattimento del carico fino a 110 kN. Questo dimostra come il pannello anche se si è instabilizzato riesce comunque a portare una aliquota di carico verticale. Inoltre si assiste alla rottura dei collegamenti lignei superiore, inferiore e centrale e alla rottura dell'eps per taglio. Mentre le tavole restano in campo elastico, infatti quando si è scaricata la cella di carico il provino è tornato nella sua configurazione iniziale. Mentre nel diagramma forza-spostamento laterale si registra un primo tratto con spostamenti nulli ed incrementi di forza fino all'attingimento del carico critico. In corrispondenza del carico critico si assiste ad un progressivo aumento degli spostamenti laterali con un carico pressoché costante fino alla completa instabilità.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.179) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.445).

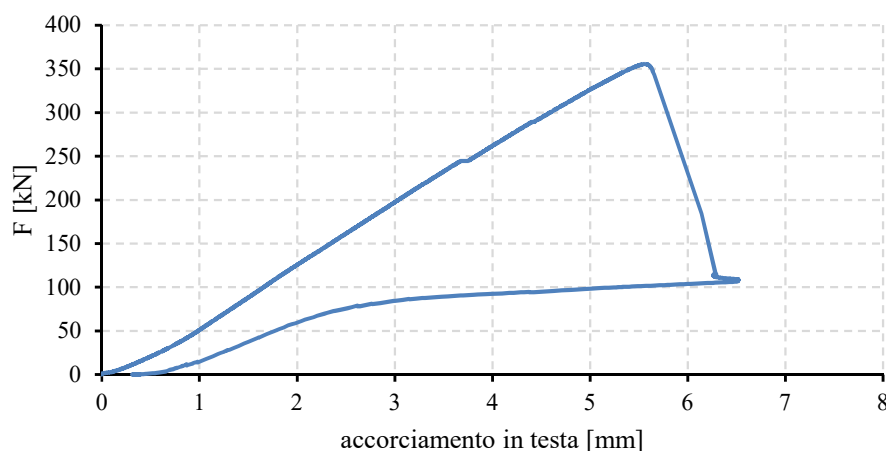


Fig. 5.442 Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.0)

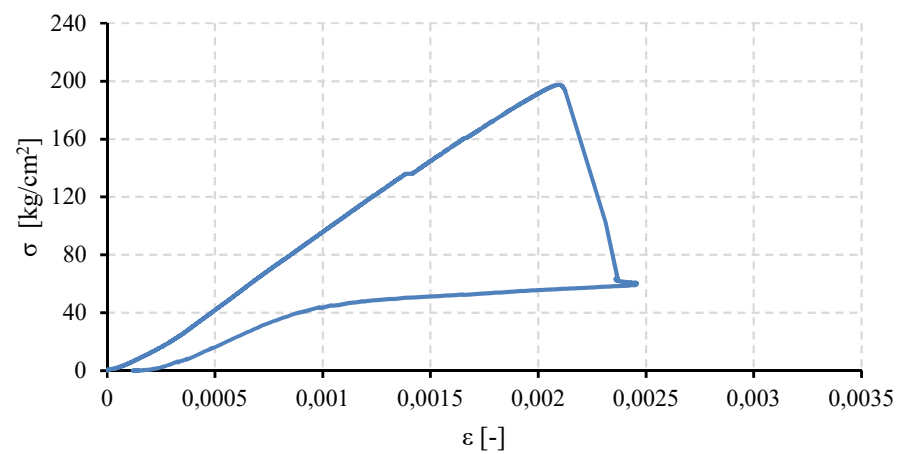


Fig. 5.443 Diagramma σ - ϵ (provino P.I.0)

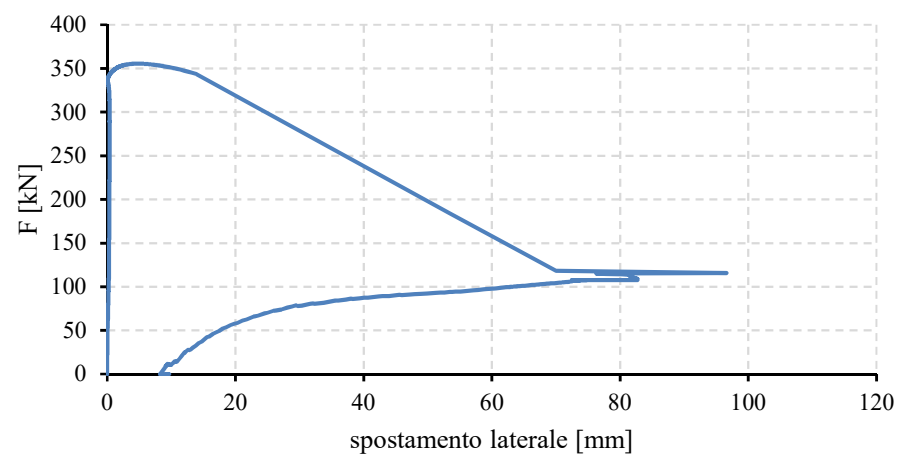


Fig. 5.444 Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.0)



Fig. 5.445 Foto provino P.I.O

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	11/11/2015
DIMENSIONI	265,5x22,5x16,2 cm
MATERIALE	Abete austriaco ed eps
	FACCIA DX: 13
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SX: 6
	ESTREMO SUP: /
	ESTREMO INF: /
TIPO DI PROVA	Prova da carico di punta
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza estensionale, carico critico e tensione critica)
VELOCITA' DI PROVA	0,5 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico critico	accorciamento in testa	spostamento laterale
F_{crit} [kN]	$w_{F_{crit}}$ [mm]	$d_{F_{crit}}$ [mm]
355,5	5,6	5,1

COMPORTAMENTO DEI TOZZETTI LIGNEI

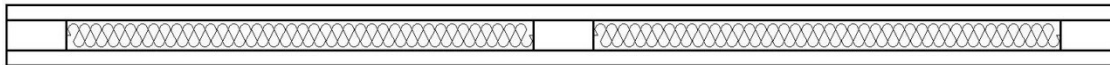
INFERIORE	CENTRALE	SUPERIORE
Rottura mista (legno/colla)	No	Rottura legno

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dell'eps e rottura dei collegamenti superiore ed inferiore

Tab. 5.179 Scheda riepilogativa provino P.I.0

Risultati provino P.I.1 (dimensioni 267,5x22,5x16,2 cm)



Il provino P.I.1 presenta sulla faccia destra 4 nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia sinistra altri quattro molto più grandi. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare.

Si riportano, di seguito, i diagrammi forza-accorciamento, σ - ϵ e forza-spostamento laterale (Fig. 5.446, 5.447 e 5.448). Il provino mostra un comportamento elastico lineare fino al carico critico di instabilità pari a 349,7 kN, dopo cui si è registrato un abbattimento del carico fino a 85 kN. Questo dimostra come il pannello anche se si è instabilizzato riesce comunque a portare una aliquota di carico verticale. Inoltre si assiste alla rottura del collegamento ligneo inferiore, alla rottura mista (colla poliuretanica e legno) dei collegamenti lignei centrale e superiore e alla rottura dell'eps per taglio. Mentre le tavole restano in campo elastico, infatti quando si è scaricata la cella di carico il provino è tornato nella sua configurazione iniziale. Mentre nel diagramma forza-spostamento laterale si registra un primo tratto con leggeri spostamenti dovuti ad effetti del II ordine, verificatosi a causa della non perfetta coincidenza dell'asse di carico con quello baricentrico del provino. Seguono, incrementi di forza fino all'attingimento del carico critico. In corrispondenza del carico critico si assiste ad un progressivo aumento degli spostamenti laterali con un carico pressoché costante fino alla completa instabilità.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab.5.180) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.449).

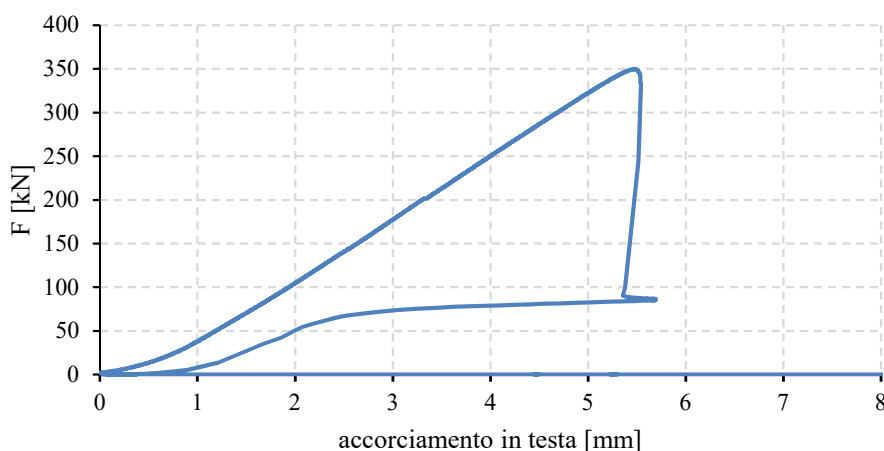


Fig. 5.446 Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.1)

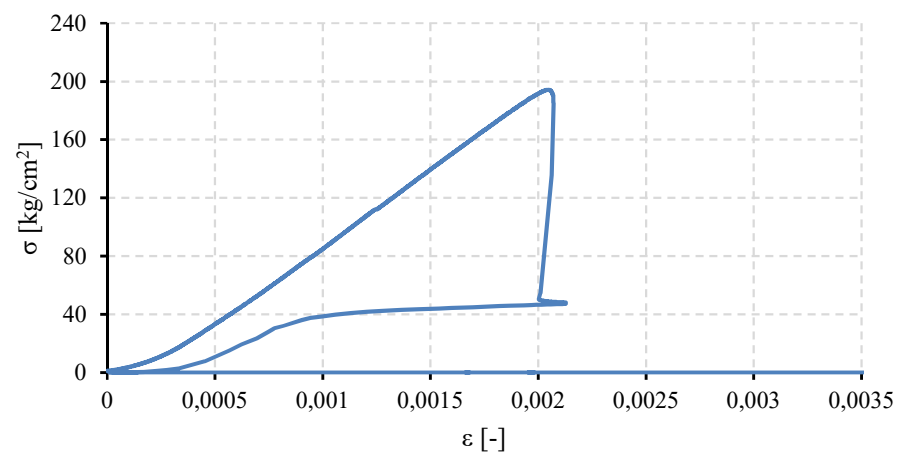


Fig. 5.447 Diagramma σ - ε (provino P.I.1)

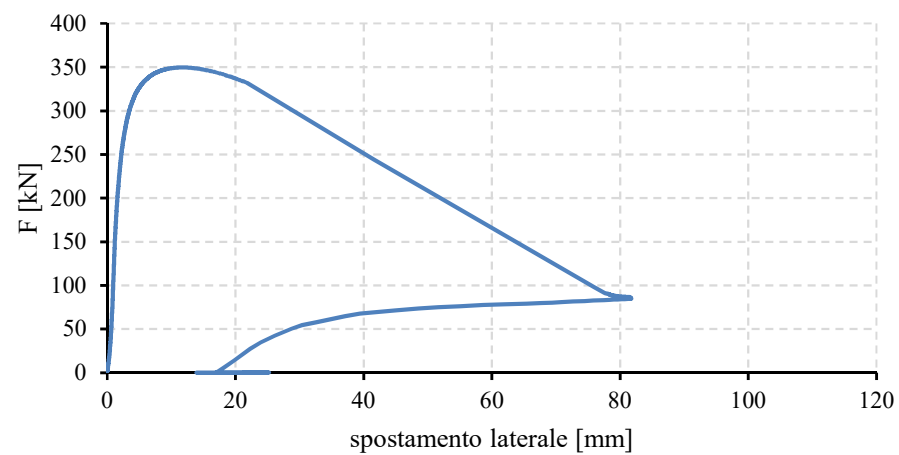


Fig. 5.448 Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.1)



Fig. 5.449 Foto provino P.I.1

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	13/11/2015
DIMENSIONI	267,5x22,5x16,2 cm
MATERIALE	Abete austriaco ed eps
	FACCIA DX: 4
	FACCIA SX: 4
DIFETTI RILEVATI	ESTREMO SUP: /
	ESTREMO INF: /
TIPO DI PROVA	Prova da carico di punta
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza estensionale, carico critico e tensione critica)
VELOCITA' DI PROVA	0,5 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico critico	accorciamento in testa	spostamento laterale
F_{crit} [kN]	$w_{F_{crit}}$ [mm]	$d_{F_{crit}}$ [mm]
349,7	5,5	11,7

COMPORTAMENTO DEI TOZZETTI LIGNEI

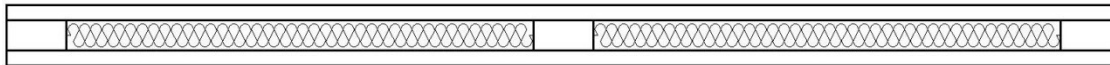
INFERIORE	CENTRALE	SUPERIORE
Rottura legno	Rottura mista (legno/colla)	Rottura mista (legno/colla)

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dell'eps e rottura dei collegamenti superiore, inferiore e centrale.

Tab. 5.180 Scheda riepilogativa provino P.I.1

Risultati provino P.I.2 (dimensioni 267,3x22,5x16,2 cm)



Il provino P.I.2 presenta sulla faccia destra quattro nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia sinistra altri due nodi. Il taglio delle tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare.

Si riportano, di seguito, i diagrammi forza-accorciamento, σ - ϵ e forza-spostamento laterale (Fig. 5.450, 5.451 e 5.452). Il provino mostra un comportamento elastico lineare fino al carico critico di instabilità pari a 314,7 kN, dopo cui si è registrato un abbattimento del carico fino a 114 kN. Questo dimostra come il pannello anche se si è instabilizzato riesce comunque a portare una aliquota di carico verticale. Inoltre si assiste alla rottura del collegamento ligneo centrale e la rottura mista (legno e colla poliuretanica) del collegamento ligneo inferiore e alla rottura per taglio dell'eps della parte inferiore. Mentre le tavole restano in campo elastico, infatti quando si è scaricata la cella di carico il provino è tornato nella sua configurazione iniziale. Mentre nel diagramma forza-spostamento laterale si registra un primo tratto con leggeri spostamenti dovuti ad effetti del II ordine, verificatosi a causa della non perfetta coincidenza dell'asse di carico con quello baricentrico del provino. Seguono, incrementi di forza fino all'attingimento del carico critico. In corrispondenza del carico critico si assiste ad un progressivo aumento degli spostamenti laterali con un carico pressoché costante fino alla completa instabilità. Si riporta una scheda riepilogativa della prova e la relativa documentazione fotografica. Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.181) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.453).

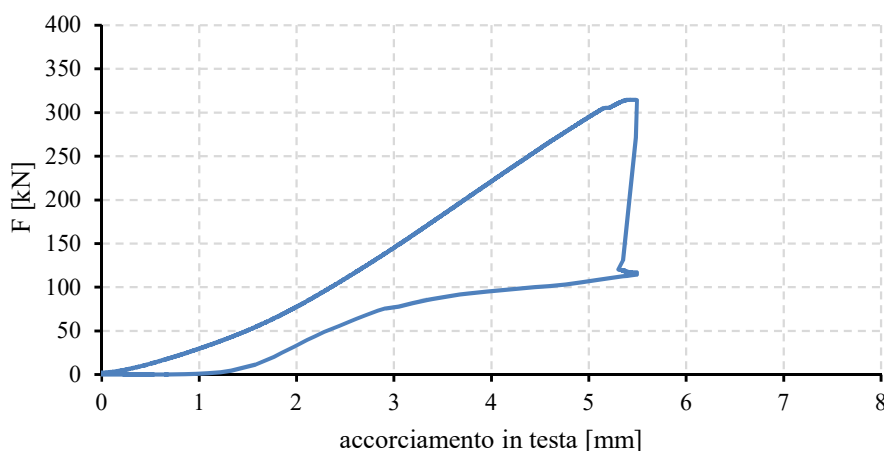


Fig. 5.450 Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.2)

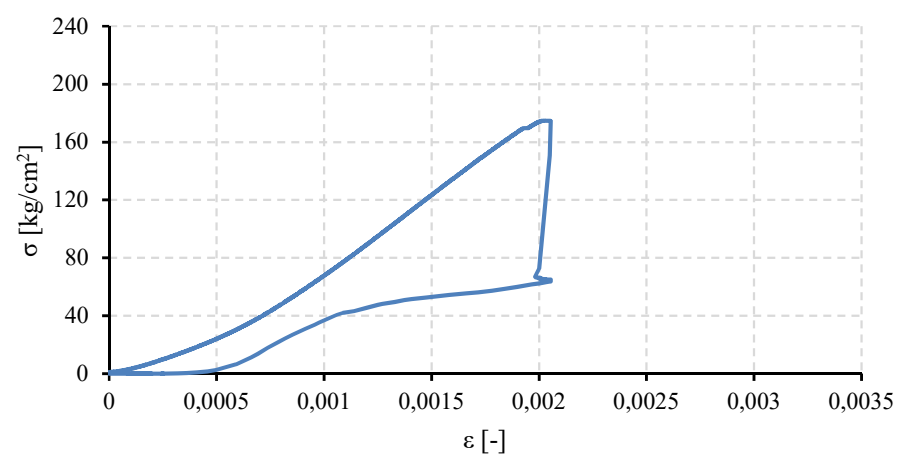


Fig. 5.451 Diagramma σ - ε (provino P.I.2)

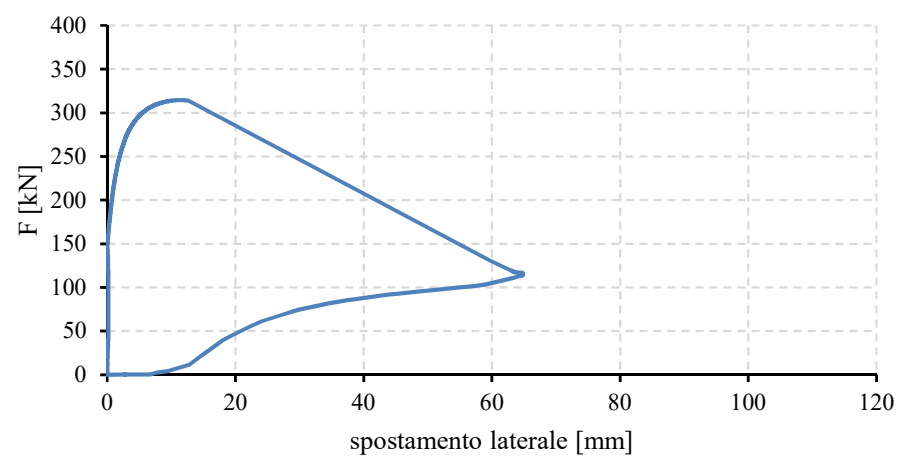


Fig. 5.452 Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.2)



Fig. 5.453 Foto provino P.1.2

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	13/11/2015
DIMENSIONI	267,3x22,5x16,2 cm
MATERIALE	Abete austriaco ed eps
	FACCIA DX: 4
	FACCIA SX: 2
DIFETTI RILEVATI	ESTREMO SUP: /
	ESTREMO INF: /
TIPO DI PROVA	Prova da carico di punta
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza estensionale, carico critico e tensione critica)
VELOCITA' DI PROVA	0,5 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico critico	accorciamento in testa	spostamento laterale
F_{crit} [kN]	$w_{F_{crit}}$ [mm]	$d_{F_{crit}}$ [mm]
314,7	5,4	11,5

COMPORTAMENTO DEI TOZZETTI LIGNEI

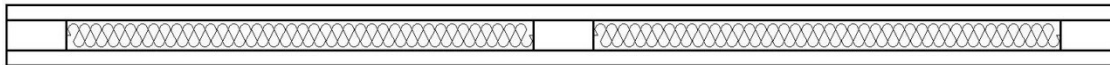
INFERIORE	CENTRALE	SUPERIORE
Rottura mista (legno/colla)	Rottura legno	No

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dell'eps inferiore, rottura dei collegamenti inferiore e centrale e rottura a trazione della tavola in corrispondenza del tozzetto ligneo centrale

Tab. 5.181 Scheda riepilogativa provino P.I.2

Risultati provino P.I.3 (dimensioni 267x22,5x16,2 cm)



Il provino P.I.3 presenta sulla faccia di destra sette nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri sei nodi grandi e allungati. Il taglio della tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare.

Si riportano, di seguito, i diagrammi forza-accorciamento, σ - ϵ e forza-spostamento laterale (Fig. 5.454, 5.455 e 5.456). Il provino mostra un comportamento elastico lineare fino al carico critico di instabilità pari a 329,9 kN, dopo cui si è registrato un abbattimento del carico fino a 55 kN. Questo dimostra come il pannello anche se si è instabilizzato riesce comunque a portare una aliquota di carico verticale. Inoltre si assiste alla rottura dei collegamenti lignei superiore, inferiore e centrale e alla rottura dell'eps per taglio. Mentre le tavole restano in campo elastico, infatti quando si è scaricata la cella di carico il provino è tornato nella sua configurazione iniziale. Mentre nel diagramma forza-spostamento laterale si registra un primo tratto con spostamenti nulli ed incrementi di forza fino all'attingimento del carico critico. In corrispondenza del carico critico si assiste ad un progressivo aumento degli spostamenti laterali con un carico pressoché costante fino alla completa instabilità.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.182) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.457).

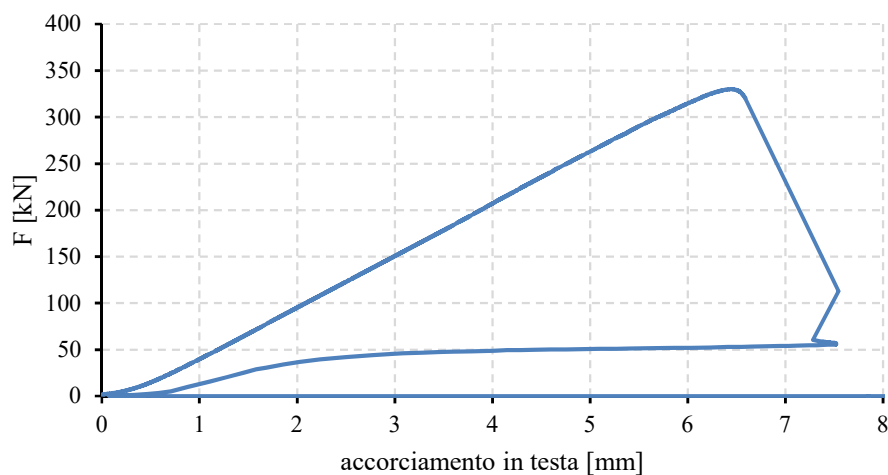


Fig. 5.454 Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.3)

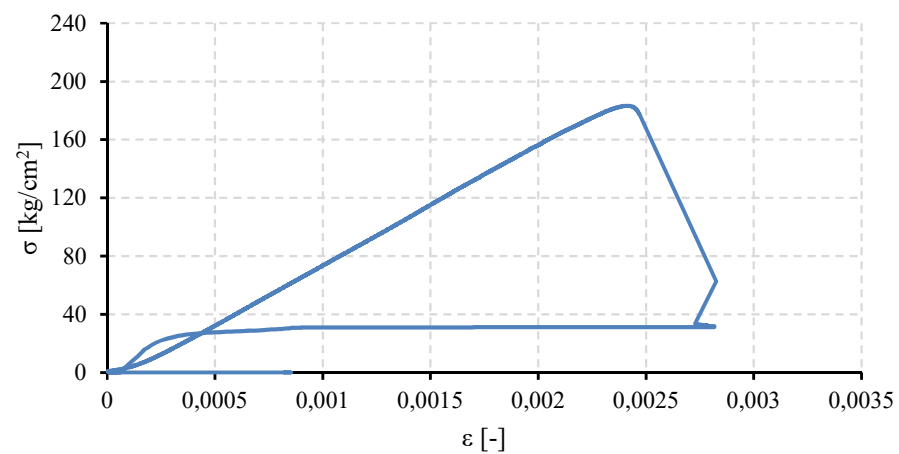


Fig. 5.455 Diagramma σ - ε (provino P.I.3)

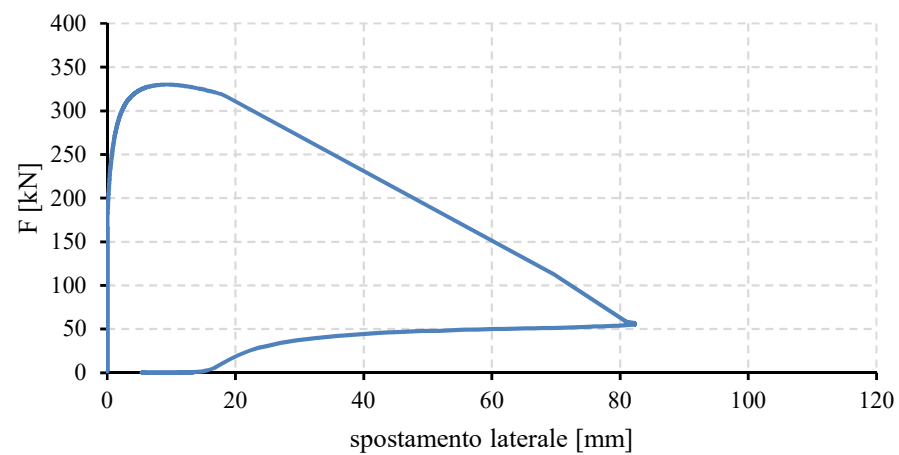


Fig. 5.456 Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.3)

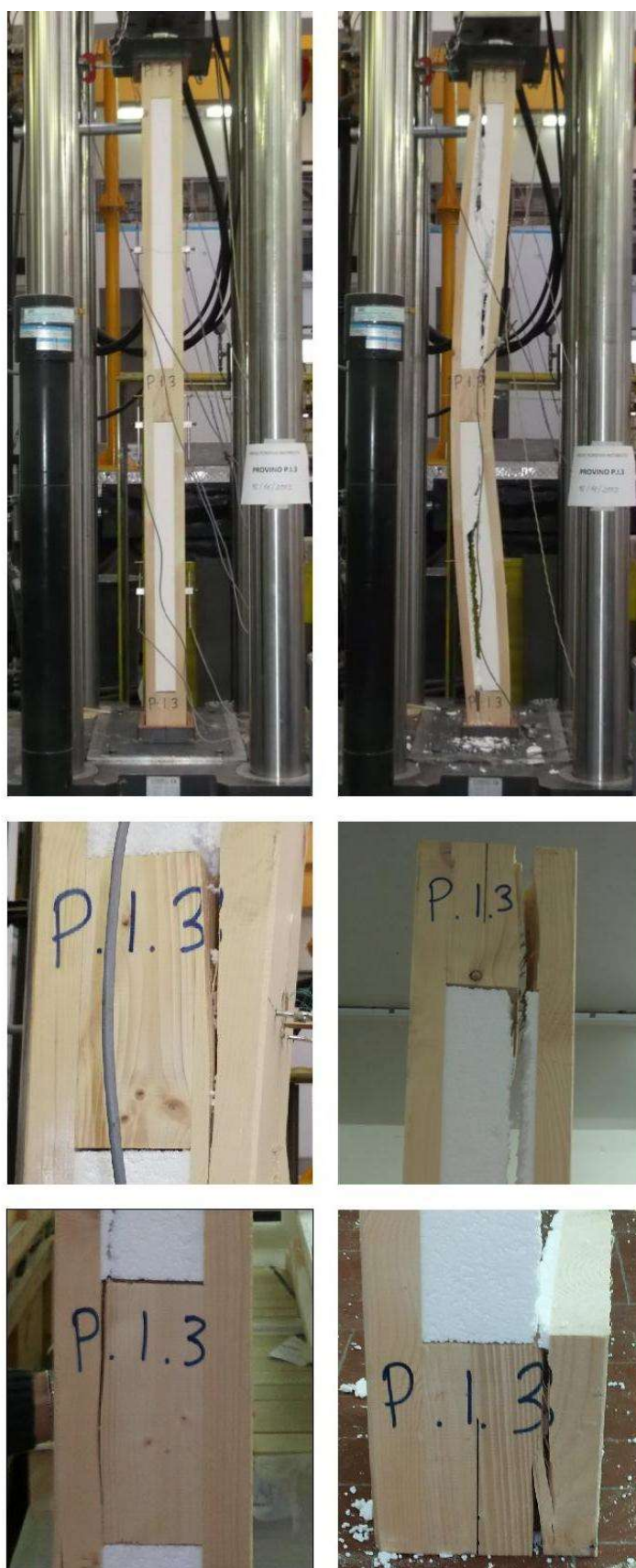


Fig. 5.457 Foto provino P.1.3

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	16/11/2015
DIMENSIONI	267x22,5x16,2 cm
MATERIALE	Abete austriaco ed eps
	FACCIA DX: 7
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SX: 6
	ESTREMO SUP: /
	ESTREMO INF: /
TIPO DI PROVA	Prova da carico di punta
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza estensionale, carico critico e tensione critica)
VELOCITA' DI PROVA	0,5 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico critico	accorciamento in testa	spostamento laterale
F_{crit} [kN]	$w_{F_{crit}}$ [mm]	$d_{F_{crit}}$ [mm]
329,9	6,5	9,7

COMPORTAMENTO DEI TOZZETTI LIGNEI

INFERIORE	CENTRALE	SUPERIORE
Rottura legno	Rottura legno	Rottura legno

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dell'eps e rottura dei collegamenti superiore, inferiore e centrale. Rottura tavola a trazione in corrispondenza del tozzetto ligneo centrale.

Tab. 5.182 Scheda riepilogativa provino P.I.3

Riepilogo risultati del primo gruppo

Di seguito si riportano i grafici riepilogativi (forza-accorciamento in testa, σ - ε e forza-spostamento laterale) dei provini del primo gruppo (Fig. 5.458, 5.459 e 5.460) e la scheda riepilogativa dei risultati dei provini del primo gruppo (Tab. 5.183)

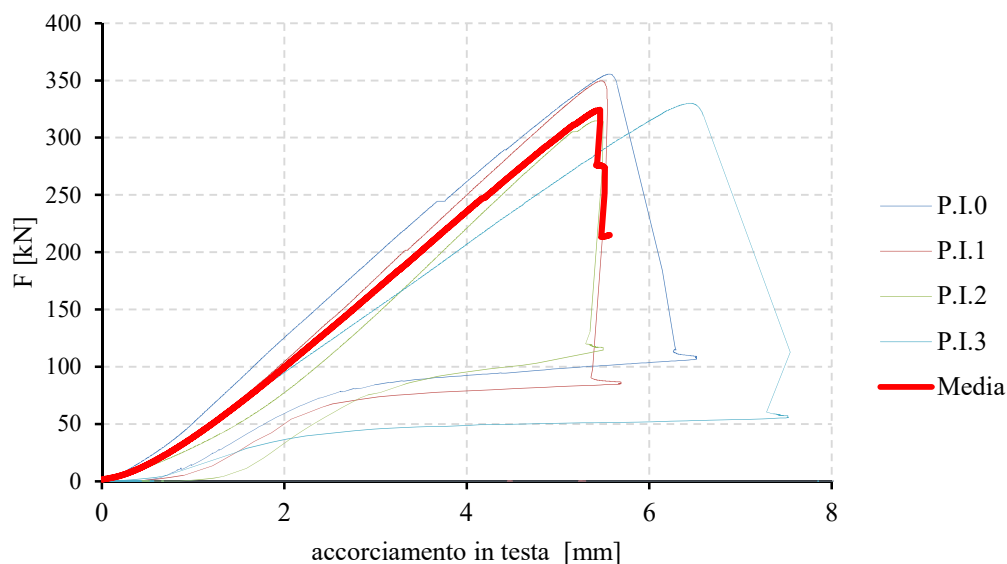


Fig. 5.458 Diagramma riepilogativo forza-accorciamento in testa (provini del primo gruppo)

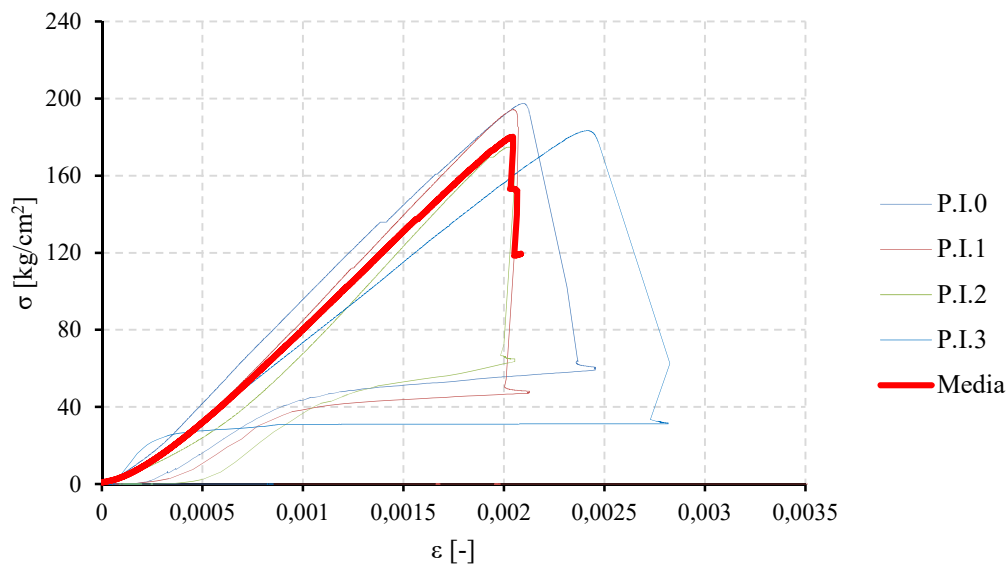


Fig. 5.459 Diagramma riepilogativo σ - ε (provini del primo gruppo)

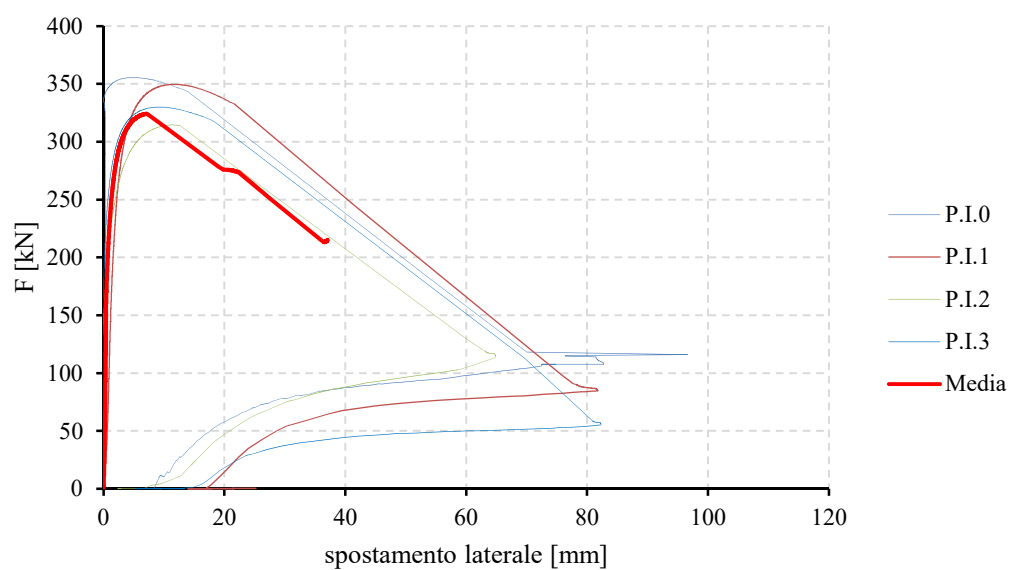


Fig. 5.460 Diagramma riepilogativo forza-spostamento laterale (provini del primo gruppo)

Riepilogo dei risultati del primo gruppo			
Provino	carico critico F_{crit} [kN]	accorciamento in testa $w_{F_{crit}}$ [mm]	spostamento laterale $d_{F_{crit}}$ [mm]
P.I.0	355,5	5,6	5,1
P.I.1	349,7	5,5	11,7
P.I.2	314,7	5,4	11,5
P.I.3	329,9	6,5	9,7

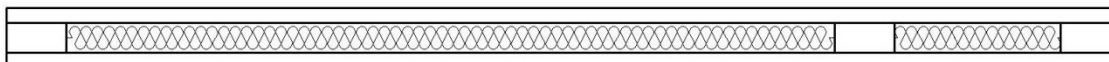
Tab. 5.183 Scheda riepilogativa dei risultati del primo gruppo

Risultati delle prove: secondo gruppo

Il secondo gruppo è costituito dai seguenti provini:

- provino P.I.4;
- provino P.I.5;
- provino P.I.6.

Risultati provino P.I.4 (dimensioni 265,1x22,5x16,2 cm)



Il provino P.I.4 presenta sulla faccia di destra cinque nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri sei nodi grandi e allungati. Il taglio della tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare.

Si riportano, di seguito, i diagrammi forza-accorciamento, σ - ε e forza-spostamento laterale (Fig. 5.461, 5.462 e 5.463). Il provino mostra un comportamento elastico lineare fino al carico critico di instabilità pari a 347,7 kN, dopo cui si è registrato un abbattimento del carico fino a 84 kN. Questo dimostra come il pannello anche se si è instabilizzato riesce comunque a portare una aliquota di carico verticale. Inoltre si assiste alla rottura del collegamento ligneo inferiore e alla rottura a taglio dell'eps della parte inferiore. Mentre le tavole restano in campo elastico, infatti quando si è scaricata la cella di carico il provino è tornato nella sua configurazione iniziale. Mentre nel diagramma forza-spostamento laterale si registra un primo tratto con spostamenti nulli ed incrementi di forza fino all'attingimento del carico critico. In corrispondenza del carico critico si assiste ad un progressivo aumento degli spostamenti laterali con un carico pressoché costante fino alla completa instabilità.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.184) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.464).

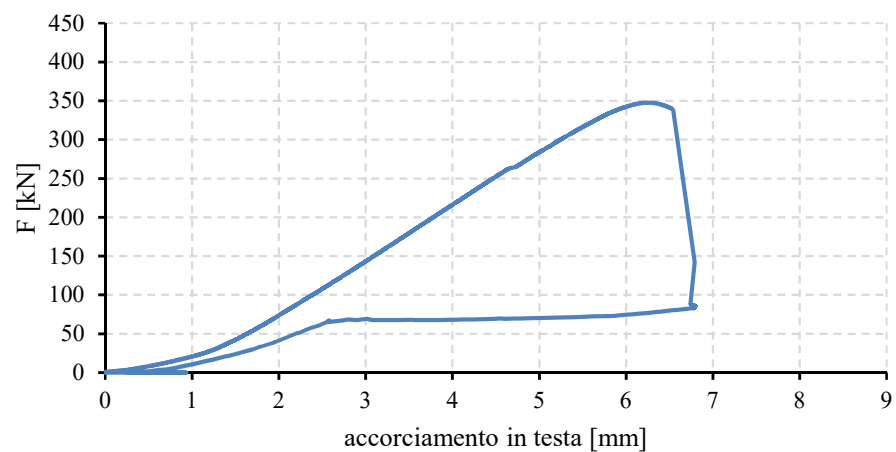


Fig. 5.461 Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.4)

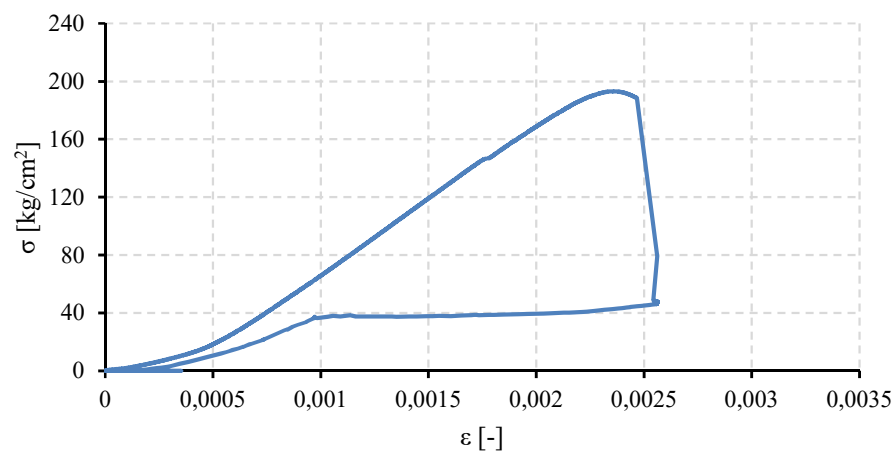


Fig. 5.462 Diagramma σ - ε (provino P.I.4)

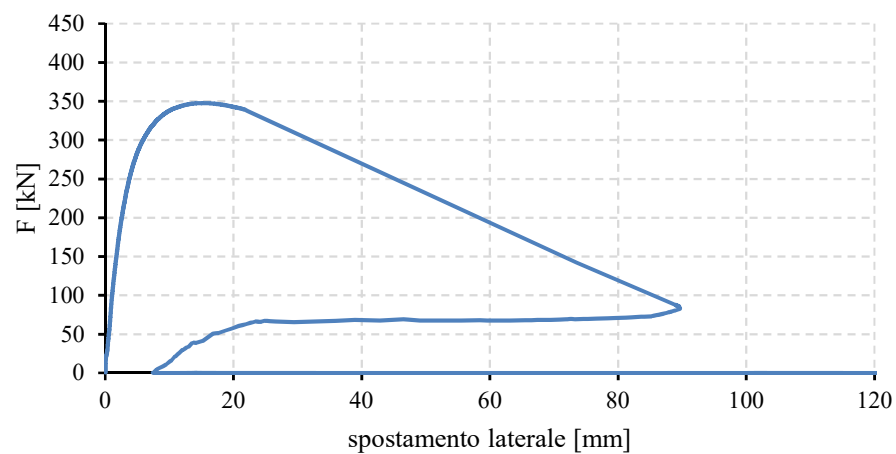


Fig. 5.463 Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.4)



Fig. 5.464 Foto provino P.I.4

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	13/11/2015
DIMENSIONI	265,1x22,5x16,2 cm
MATERIALE	Abete austriaco ed eps
	FACCIA DX: 5
	FACCIA SX: 6
DIFETTI RILEVATI	ESTREMO SUP: /
	ESTREMO INF: /
TIPO DI PROVA	Prova da carico di punta
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza estensionale, carico critico e tensione critica)
VELOCITA' DI PROVA	0,5 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico critico	accorciamento in testa	spostamento laterale
F_{crit} [kN]	$w_{F_{crit}}$ [mm]	$d_{F_{crit}}$ [mm]
347,7	6,2	15,1

COMPORTAMENTO DEI TOZZETTI LIGNEI

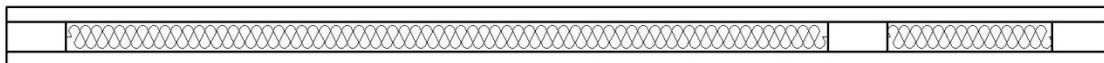
INFERIORE	CENTRALE	SUPERIORE
Rottura legno	No	No

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dell'eps inferiore e rottura del collegamento inferiore

Tab. 5.184 Scheda riepilogativa provino P.I.4

Risultati provino P.I.5 (dimensioni 267x22,5x16,2 cm)



Il provino P.I.5 presenta sulla faccia di destra due nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia inferiore altri due nodi grandi e allungati. Il taglio della tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare.

Si riportano, di seguito, i diagrammi forza-accorciamento, σ - ϵ e forza-spostamento laterale (Fig. 5.465, 5.466 e 5.467). Il provino mostra un comportamento elastico lineare fino al carico critico di instabilità pari a 412,9 kN, dopo cui si è registrato un abbattimento del carico fino a 94 kN. Questo dimostra come il pannello anche se si è instabilizzato riesce comunque a portare una aliquota di carico verticale. Inoltre si assiste alla rottura dei collegamenti lignei superiore, inferiore e alto e alla rottura dell'eps per taglio. Mentre le tavole restano in campo elastico, infatti quando si è scaricata la cella di carico il provino è tornato nella sua configurazione iniziale. Mentre nel diagramma forza-spostamento laterale si registra un primo tratto con leggeri spostamenti dovuti ad effetti del II ordine, verificatosi a causa della non perfetta coincidenza dell'asse di carico con quello baricentrico del provino. Seguono, incrementi di forza fino all'attingimento del carico critico. In corrispondenza del carico critico si assiste ad un progressivo aumento degli spostamenti laterali con un carico pressoché costante fino alla completa instabilità.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.185) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.468).

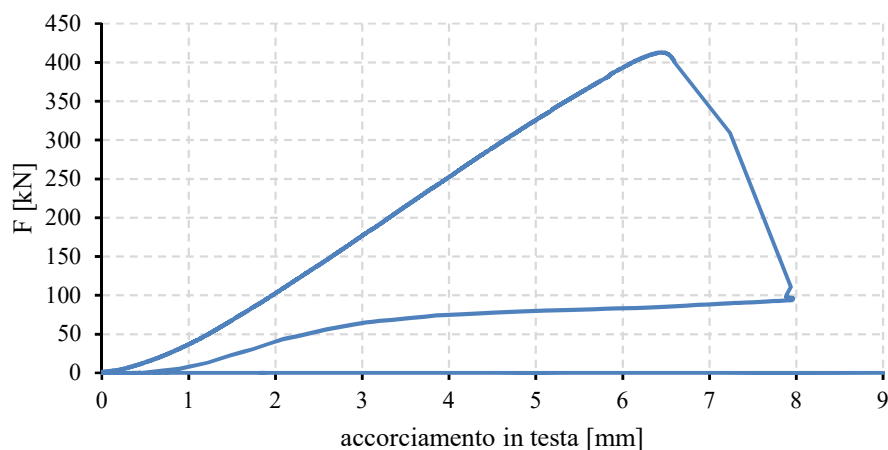


Fig. 5.465 Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.5)

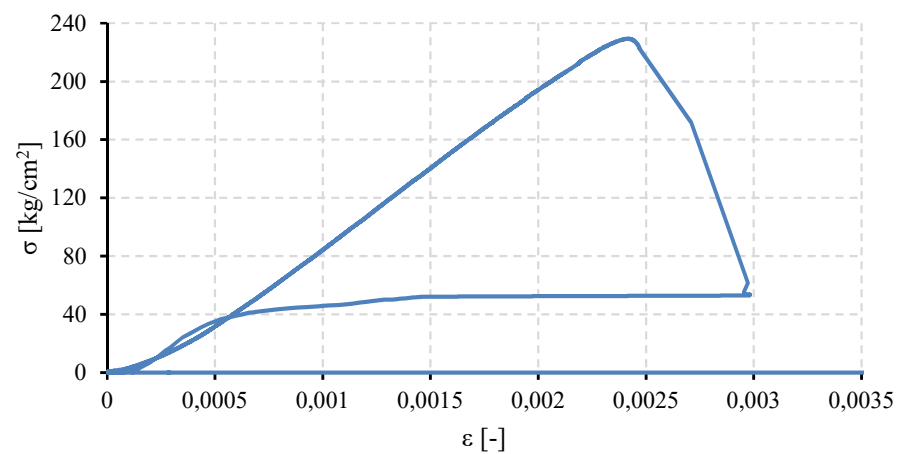


Fig. 5.466 Diagramma σ - ϵ (provino P.I.5)

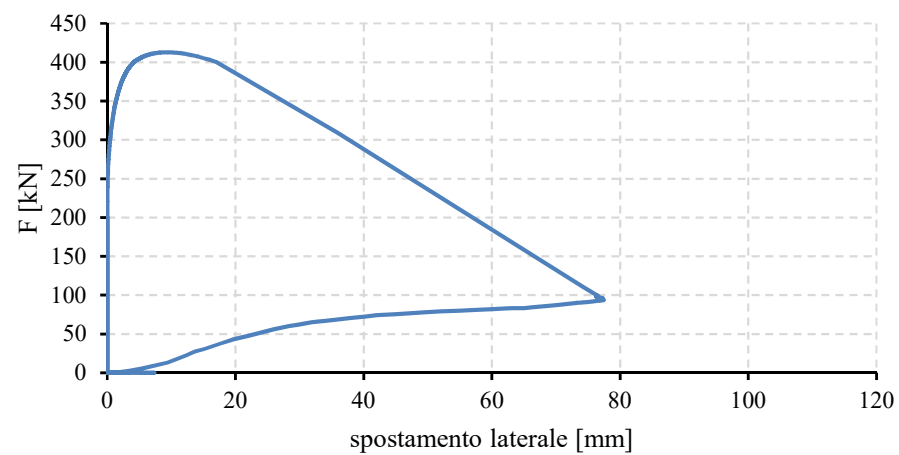


Fig. 5.467 Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.5)



Fig. 5.468 Foto provino P.I.5

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	16/11/2015
DIMENSIONI	267x22,5x16,2 cm
MATERIALE	Abete austriaco ed eps
	FACCIA DX: 2
	FACCIA SX: 2
DIFETTI RILEVATI	ESTREMO SUP: /
	ESTREMO INF: /
TIPO DI PROVA	Prova da carico di punta
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza estensionale, carico critico e tensione critica)
VELOCITA' DI PROVA	0,5 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico critico	accorciamento in testa	spostamento laterale
F_{crit} [kN]	$w_{F_{crit}}$ [mm]	$d_{F_{crit}}$ [mm]
412,9	6,4	9,2

COMPORTAMENTO DEI TOZZETTI LIGNEI

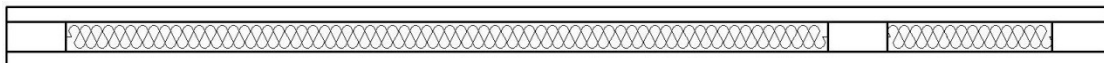
INFERIORE	CENTRALE	SUPERIORE
Rottura legno	Rottura legno	Rottura legno

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dell'eps e rottura del collegamento inferiore, medio e superiore

Tab. 5.185 Scheda riepilogativa provino P.I.5

Risultati provino P.I.6 (dimensioni 266,8x22,5x16,2 cm)



Il provino P.I.6 presenta sulla faccia di destra cinque nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia sinistra altri sette nodi. Il taglio della tavola è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare.

Si riportano, di seguito, i diagrammi forza-accorciamento, σ - ϵ e forza-spostamento laterale (Fig. 5.469, 5.470 e 5.471). Il provino mostra un comportamento elastico lineare fino al carico critico di instabilità pari a 417,9 kN, dopo cui si è registrato un abbattimento del carico fino a 70 kN. Questo dimostra come il pannello anche se si è instabilizzato riesce comunque a portare una aliquota di carico verticale. Inoltre si assiste alla rottura del collegamento ligneo superiore, alla rottura della colla poliuretanica dei collegamenti lignei inferiore e alto e rottura dell'eps per taglio. Mentre le tavole restano in campo elastico, infatti quando si è scaricata la cella di carico il provino è tornato nella sua configurazione iniziale. Mentre nel diagramma forza-spostamento laterale si registra un primo tratto con spostamenti nulli ed incrementi di forza fino all'attingimento del carico critico. In corrispondenza del carico critico si assiste ad un progressivo aumento degli spostamenti laterali con un carico pressoché costante fino alla completa instabilità.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.186) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.472).

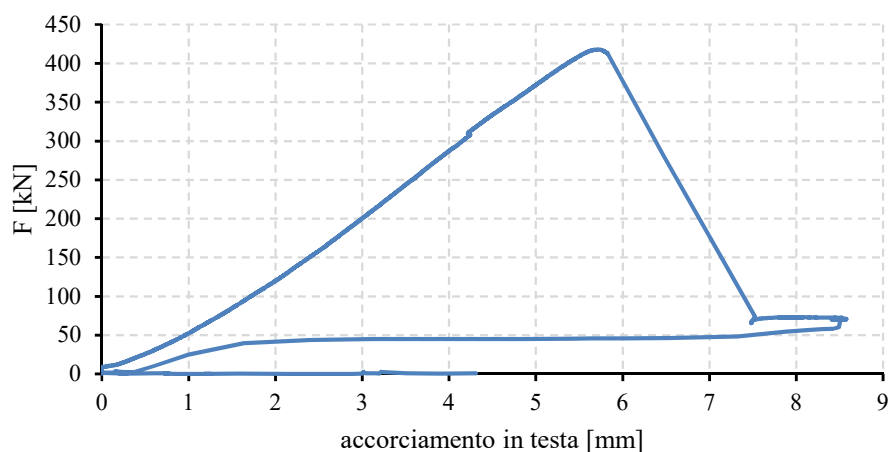


Fig. 5.469 Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.6)

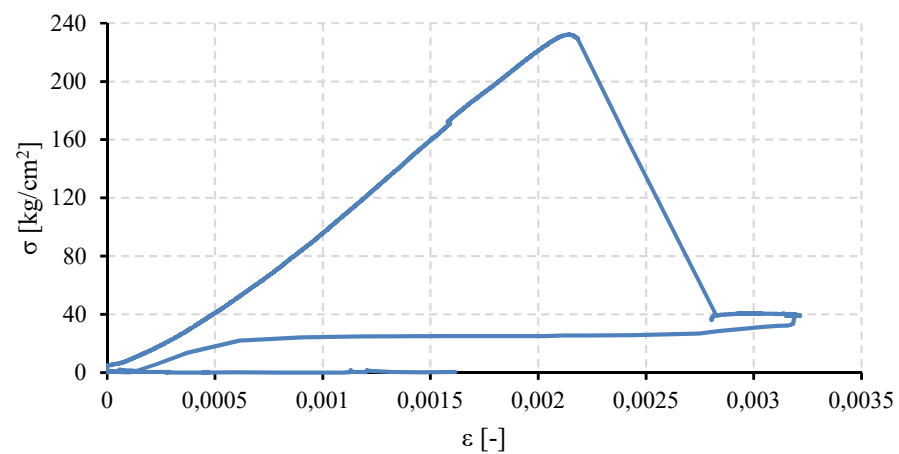


Fig. 5.470 Diagramma σ - ε (provino P.I.6)

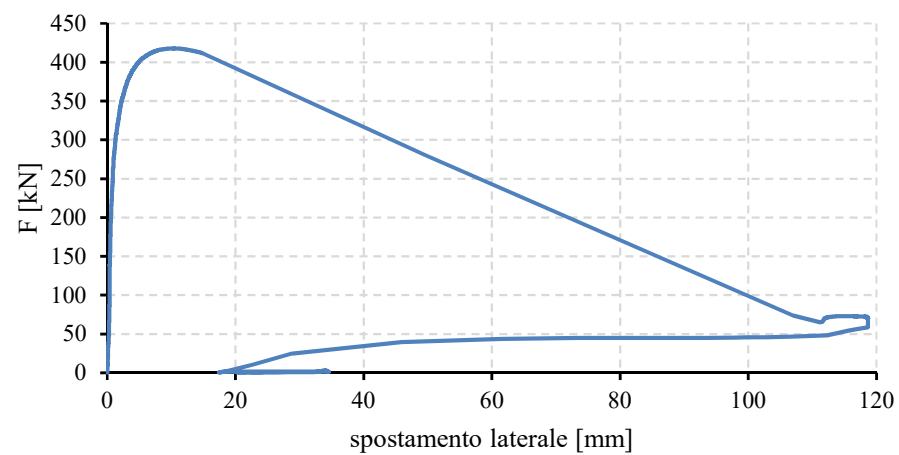


Fig. 5.471 Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.6)



Fig. 5.472 Foto provino P.I.6

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	16/11/2015
DIMENSIONI	266,8x22,5x16,2 cm
MATERIALE	Abete austriaco ed eps
	FACCIA DX: 5
	FACCIA SX: 7
DIFETTI RILAVATI	ESTREMO SUP: /
	ESTREMO INF: /
TIPO DI PROVA	Prova da carico di punta
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza estensionale, carico critico e tensione critica)
VELOCITA' DI PROVA	0,5 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico critico	accorciamento in testa	spostamento laterale
F_{crit} [kN]	$w_{F_{crit}}$ [mm]	$d_{F_{crit}}$ [mm]
417,9	5,7	10,3

COMPORTAMENTO DEI TOZZETTI LIGNEI

INFERIORE	CENTRALE	SUPERIORE
Rottura legno	Rottura colla	Rottura colla

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura a taglio dell'eps e rottura del collegamento inferiore, medio e superiore

Tab. 5.186 Scheda riepilogativa provino P.I.6

Riepilogo risultati del secondo gruppo

Di seguito si riportano i grafici riepilogativi (forza-accorciamento in testa, σ - ε e forza-spostamento laterale) dei provini del secondo gruppo (Fig. 5.473, 5.474 e 5.475) e la scheda riepilogativa dei risultati dei provini del secondo gruppo (Tab. 5.187)

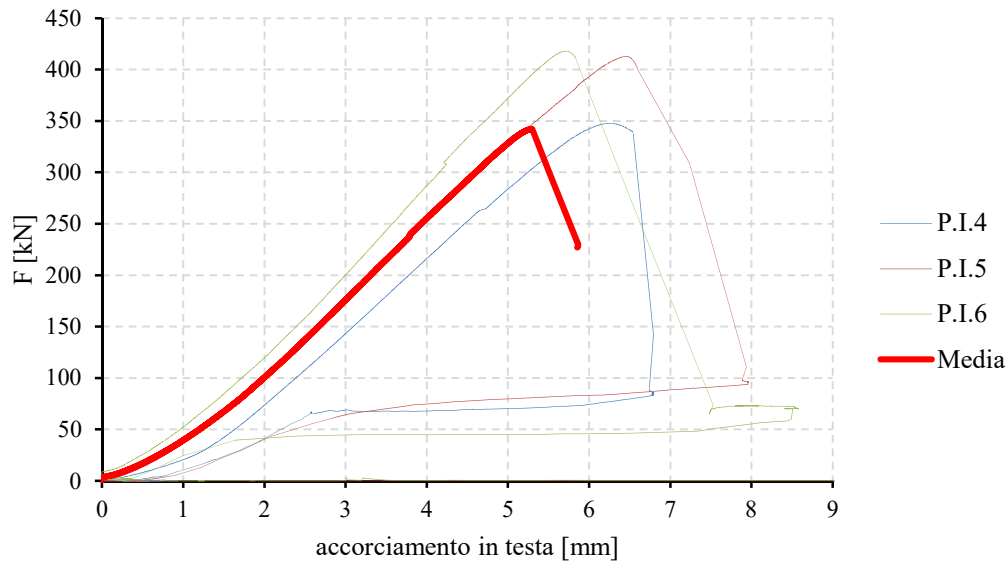


Fig. 5.473 Diagramma riepilogativo forza-accorciamento in testa (provini del secondo gruppo)

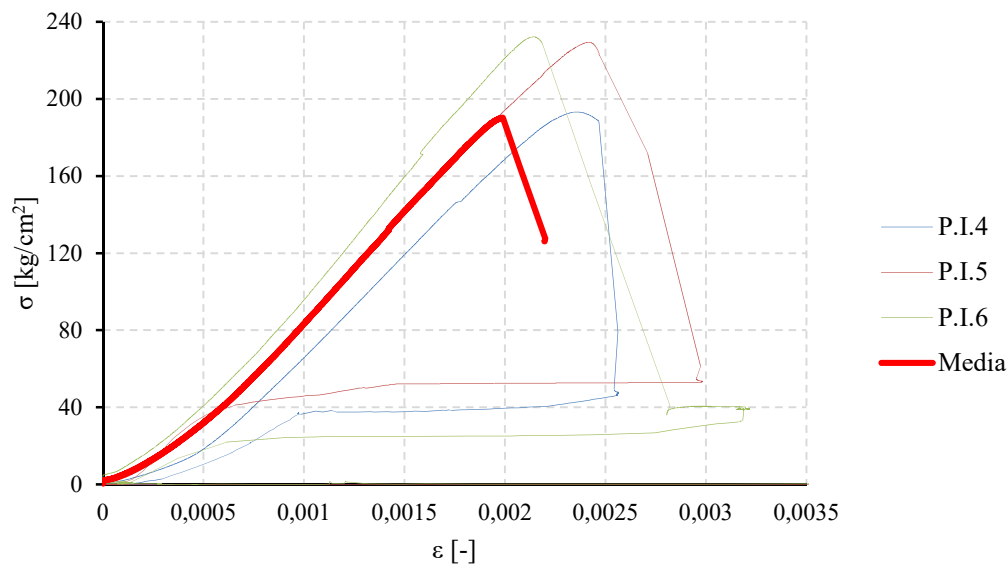


Fig. 5.474 Diagramma riepilogativo σ - ε (provini del secondo gruppo)

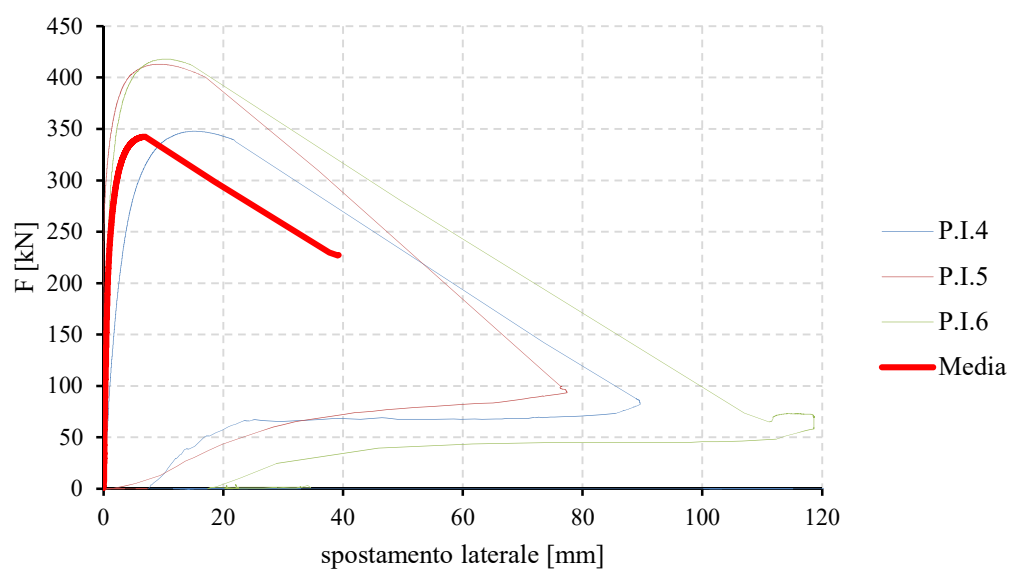


Fig. 5.475 Diagramma riepilogativo forza-spostamento laterale (provini del secondo gruppo)

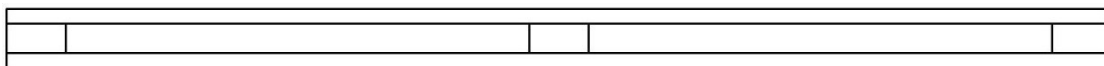
Riepilogo dei risultati del secondo gruppo			
Provino	carico critico F_{crit} [kN]	accorciamento in testa $w_{F_{crit}}$ [mm]	spostamento laterale $d_{F_{crit}}$ [mm]
P.I.4	347,7	6,2	15,1
P.I.5	412,9	6,4	9,2
P.I.6	417,9	5,7	10,3

Tab. 5.187 Scheda riepilogativa del secondo gruppo

Risultati delle prove: terzo gruppo

Il terzo gruppo è costituito da un solo provino, denominato P.I.7, formato da due tavole di spessore 40 mm senza eps interposto con tre collegamenti lignei puntuali, di cui uno posto nella mezzeria del pannello.

Risultati provino P.I.7 (dimensioni 270x20x16 cm)



Il provino P.I.7 presenta sulla faccia di destra sette nodi di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia sinistra altri cinque nodi. Il taglio della tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare.

Si riportano, di seguito, i diagrammi forza-accorciamento, σ - ε e forza-spostamento laterale (Fig. 5.476, 5.477 e 5.478). Il provino mostra un comportamento elastico lineare fino al carico critico di instabilità pari a 148,8 kN, dopo cui si è registrato un abbattimento del carico fino a 120 kN. Questo dimostra come il pannello anche se si è instabilizzato riesce comunque a portare una aliquota di carico verticale. Inoltre si assiste alla rottura del collegamento ligneo inferiore e alla rottura della colla poliuretanica. Mentre le tavole restano in campo elastico, infatti quando si è scaricata la cella di carico il provino è tornato nella sua configurazione iniziale. Dal diagramma forza-spostamento laterale si registra (per valori modesti del carico verticale) degli spostamenti orizzontali non trascurabili. Questo è dovuto alla non perfetta linearità del pannello dovuta all'arcuatura delle tavole. In corrispondenza del carico critico si assiste ad un progressivo aumento degli spostamenti laterali con un carico pressoché costante fino alla completa instabilità.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.188) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.479).

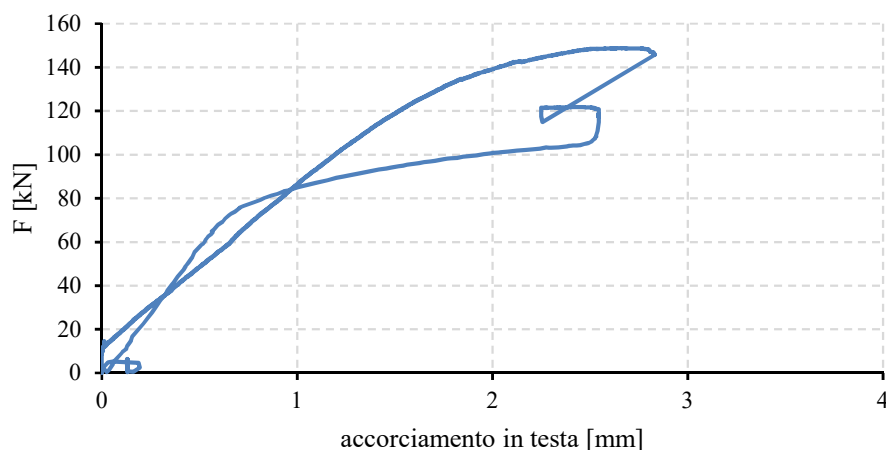


Fig. 5.476 Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.7)

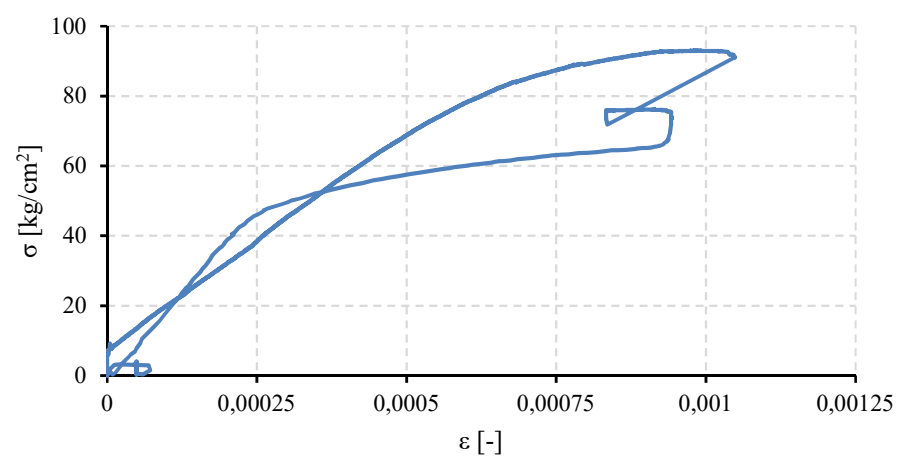


Fig. 5.477 Diagramma σ - ϵ (provino P.I.7)

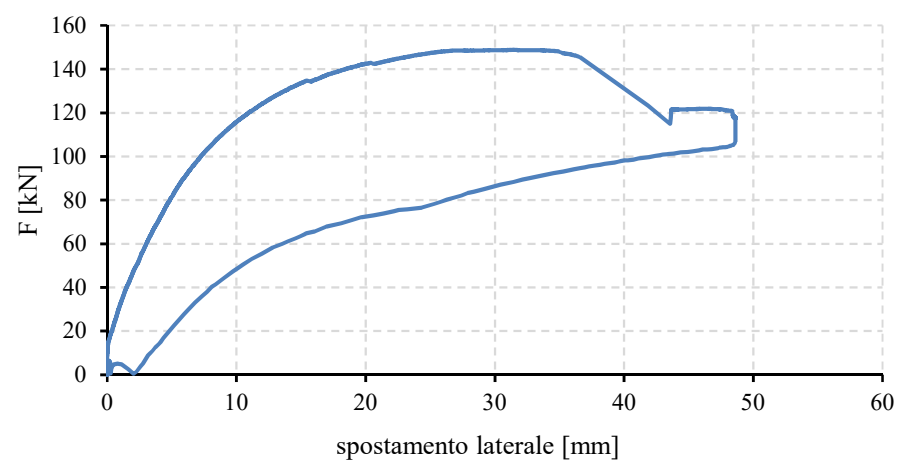


Fig. 5.478 Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.7)



Fig. 5.479 Foto provino P.I.7

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	15/03/2016
DIMENSIONI	270x20x16 cm
MATERIALE	Abete austriaco
	FACCIA DX: 7
	FACCIA SX: 5
DIFETTI RILEVATI	ESTREMO SUP: /
	ESTREMO INF: /
TIPO DI PROVA	Prova da carico di punta
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza estensionale, carico critico e tensione critica)
VELOCITA' DI PROVA	0,5 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico critico	accorciamento in testa	spostamento laterale
F_{crit} [kN]	$w_{F_{crit}}$ [mm]	$d_{F_{crit}}$ [mm]
148,8	2,7	31,8

COMPORTAMENTO DEI TOZZETTI LIGNEI

INFERIORE	CENTRALE	SUPERIORE
Rottura legno	No	No

TIPOLOGIA DI ROTTURA

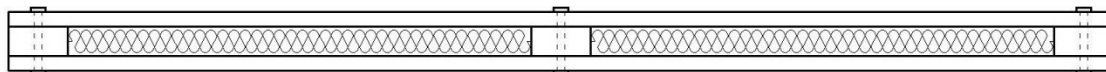
Rottura del collegamento inferiore

Tab. 5.188 Scheda riepilogativa provino P.I.7

Risultati delle prove: quarto gruppo

Il quarto gruppo è costituito da un solo provino, denominato P.I.8, formato da due tavole di spessore 40 mm con interposto isolante eps con tre collegamenti lignei puntuali, di cui uno posto nella mezzeria. Come già accennato in precedenza, le tavole sono incollate ai collegamenti lignei mediante una colla poliuretanica e da 3 barre filettate $\phi 10$.

Risultati provino P.I.8 (dimensioni 270x20x16 cm)



Il provino P.I.8 presenta sulla faccia di destra un nodo di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, mentre sulla faccia sinistra altri due nodi. Il taglio della tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare.

Si riportano, di seguito, i diagrammi forza-accorciamento, σ - ϵ e forza-spostamento laterale (Fig. 5.480, 5.481 e 5.482). Il provino mostra un comportamento elastico lineare fino al carico critico di instabilità pari a 361,7 kN, dopo cui si è registrato un abbattimento del carico fino a 132,1 kN. Questo dimostra come il pannello anche se si è instabilizzato riesce comunque a portare una aliquota di carico verticale. Inoltre si assiste alla rottura del collegamento ligneo inferiore, alla rottura del collegamento ligneo superiore e al distacco della colla poliuretanica dei collegamenti lignei inferiore e superiore. Mentre la presenza delle barre filettate ha evitato la rottura a taglio dell’eps. Inoltre le tavole restano in campo elastico, infatti quando si è scaricata la cella di carico il provino è tornato nella sua configurazione iniziale. Mentre nel diagramma forza-spostamento laterale si registra un primo tratto con leggeri spostamenti ed incrementi di forza fino all’attingimento del carico critico. In corrispondenza del carico critico si assiste ad un progressivo aumento degli spostamenti laterali con un carico pressoché costante fino alla completa instabilità.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.189) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.483).

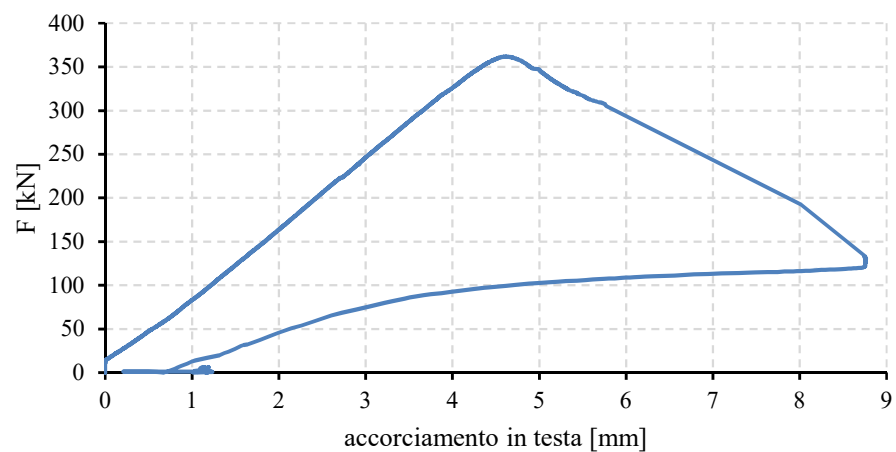


Fig. 5.480 Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.8)

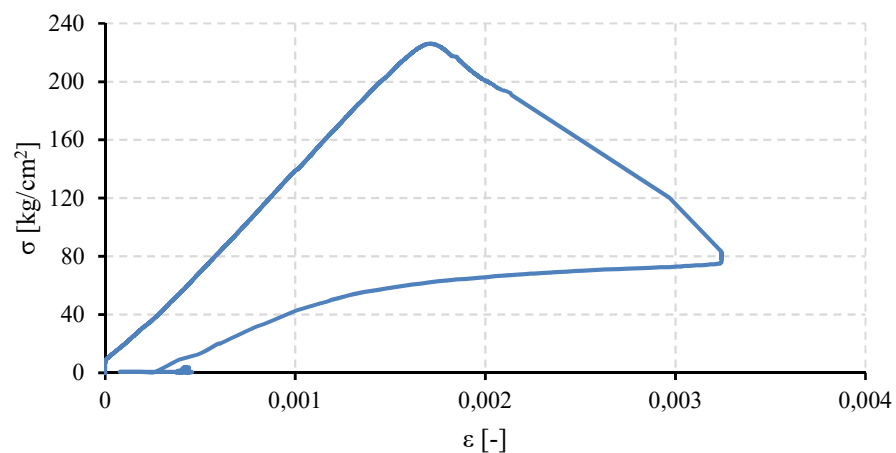


Fig. 5.481 Diagramma σ - ε (provino P.I.8)

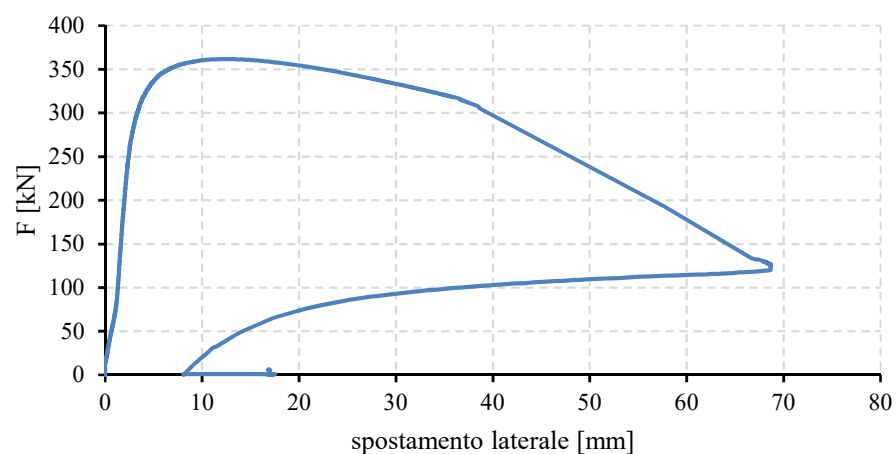


Fig. 5.482 Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.8)



Fig. 5.483 Foto provino P.I.8

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	15/03/2016
DIMENSIONI	270x20x16 cm
MATERIALE	Abete austriaco, eps e bulloni $\phi 10$
	FACCIA DX: 1
	FACCIA SX: 2
DIFETTI RILEVATI	ESTREMO SUP: /
	ESTREMO INF: /
TIPO DI PROVA	Prova da carico di punta
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza estensionale, carico critico e tensione critica)
VELOCITA' DI PROVA	0,5 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico critico	accorciamento in testa	spostamento laterale
F_{crit} [kN]	$w_{F_{crit}}$ [mm]	$d_{F_{crit}}$ [mm]
361,7	4,6	12,6

COMPORTAMENTO DEI TOZZETTI LIGNEI

INFERIORE	CENTRALE	SUPERIORE
Rottura legno	No	Rottura legno

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura del collegamento inferiore e superiore

Tab. 5.189 Scheda riepilogativa provino P.I.8

Risultati delle prove: quinto gruppo

Il quinto gruppo è costituito da un solo provino in legno lamellare, denominato P.I.9.

Risultati provino P.I.9 (dimensioni 270x20x16 cm)

Il provino P.I.9 presenta sulla faccia di sinistra un nodo di modeste dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura, sulla parte frontale due nodi di modeste dimensioni e sul retro un solo nodo. Il taglio della tavole è avvenuto “fuori cuore”, infatti sullo spessore sono evidenti gli anelli di accrescimento distanti dalla zona midollare.

Si riportano, di seguito, i diagrammi forza-accorciamento, σ - ε e forza-spostamento laterale (Fig. 5.484, 5.485 e 5.486). Il provino mostra un comportamento elastico lineare fino al carico critico di instabilità pari a 955,2 kN, dopo cui si è registrato un progressivo abbattimento del carico fino a 744 kN. Questo dimostra come il pannello anche se si è instabilizzato riesce comunque a portare una notevole aliquota di carico verticale. Il provino in esame ha manifestato durante la prova un schiacciamento localizzato nella parte centrale di destra e inferiormente a sinistra. Questo è dovuto come evidenziato dalle foto alla presenza di un nodo nella parte centrale del pannello. Il progressivo schiacciamento delle fibre dal lato destro del pannello ha provocato una eccentricità del carico verticale causando lo sbandamento laterale verso sinistra e la progressiva ma lenta riduzione del carico verticale.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 5.190) e la relativa documentazione fotografica (Fig. 5.487).

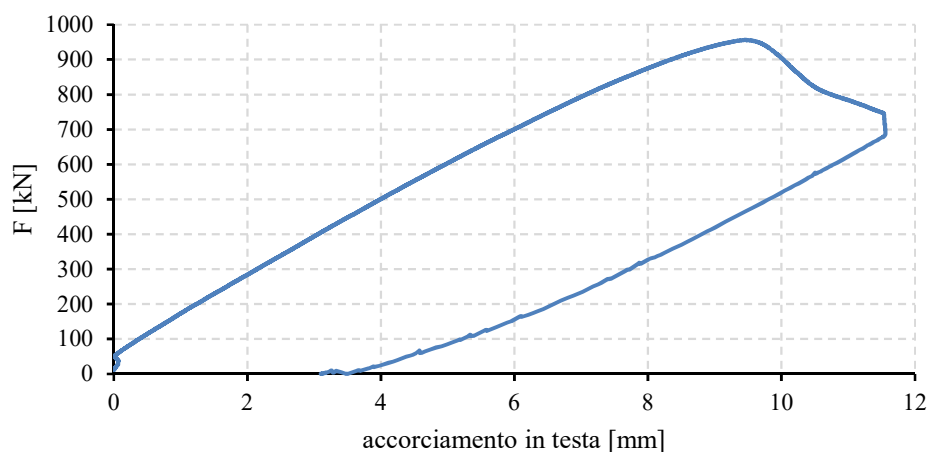


Fig. 5.484 Diagramma forza-accorciamento in testa (provino P.I.9)

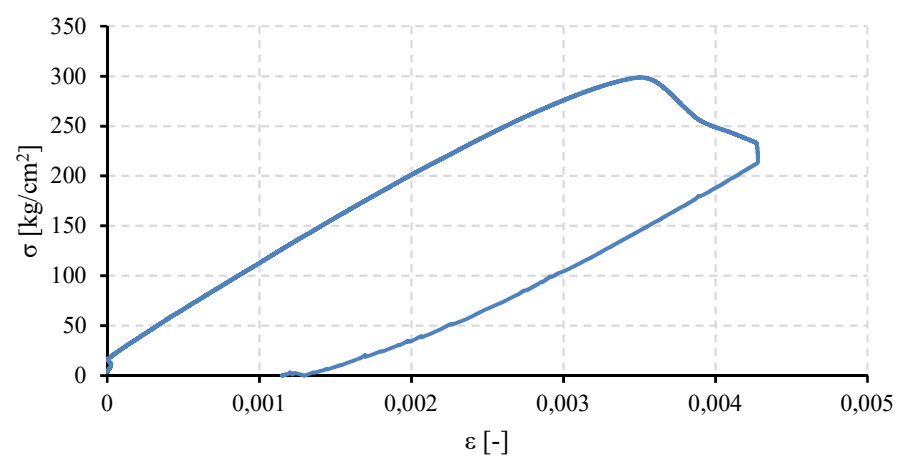


Fig. 5.485 Diagramma σ - ϵ (provino P.I.9)

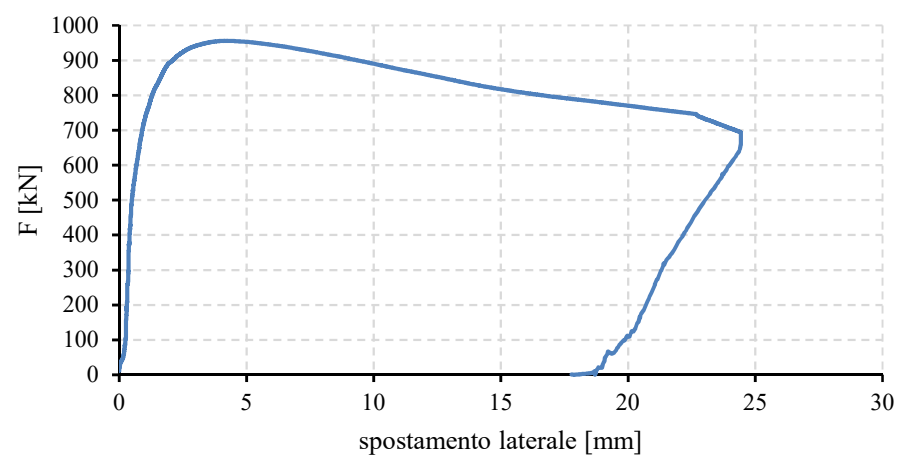


Fig. 5.486 Diagramma forza-spostamento laterale (provino P.I.9)

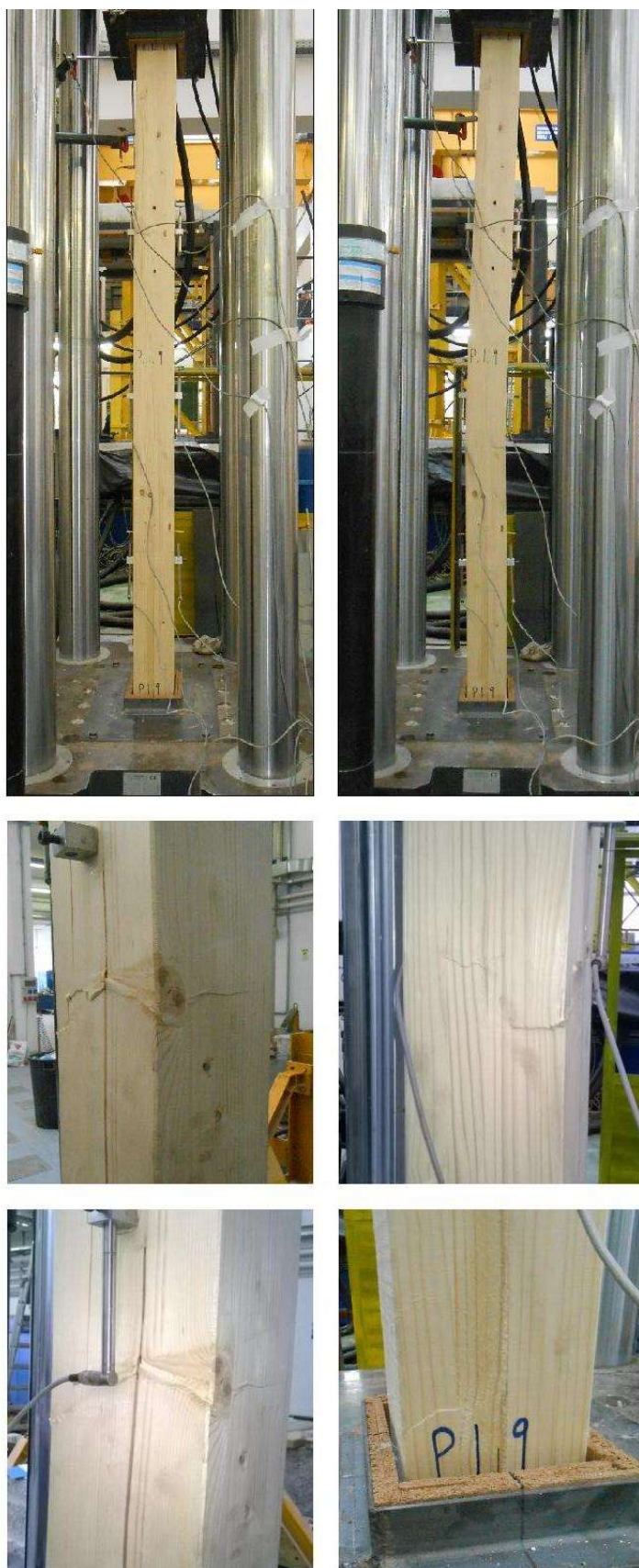


Fig. 5.487 Foto provino P.I.9

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	15/03/2016
DIMENSIONI	270x20x16 cm
MATERIALE	Abete austriaco
	FACCIA DX: /
DIFETTI RILEVATI	FACCIA SX: 1
	FRONTALE: 2
	RETRO: 1
TIPO DI PROVA	Prova da carico di punta
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione delle caratteristiche meccaniche (rigidezza estensionale, carico critico e tensione critica)
VELOCITA' DI PROVA	0,5 mm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

carico critico	accorciamento in testa	spostamento laterale
F_{crit} [kN]	$w_{F_{crit}}$ [mm]	$d_{F_{crit}}$ [mm]
955,2	9,4	4,1

COMPORTAMENTO DEI TOZZETTI LIGNEI

INFERIORE	CENTRALE	SUPERIORE
/	/	/

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Schiacciamento localizzato del pannello e relativo sbandamento laterale

Tab. 5.190 Scheda riepilogativa provino P.I.9

Riepilogo complessivo dei risultati

Si riportano, di seguito, i diagrammi riepilogativi forza-accorciamento, σ - ε e forza-spostamento laterale (Fig. 5.488, 5.489 e 5.490). Tali diagrammi, oltre a contenere le curve dei provini del terzo, quarto e quinto gruppo (ovvero dei provini P.I.7, P.I.8 e P.I.9), contengono la media del primo gruppo (provini P.I.0, P.I.1, P.I.2 e P.I.3) e quella del secondo gruppo (provini P.I.4, P.I.5 e P.I.6).

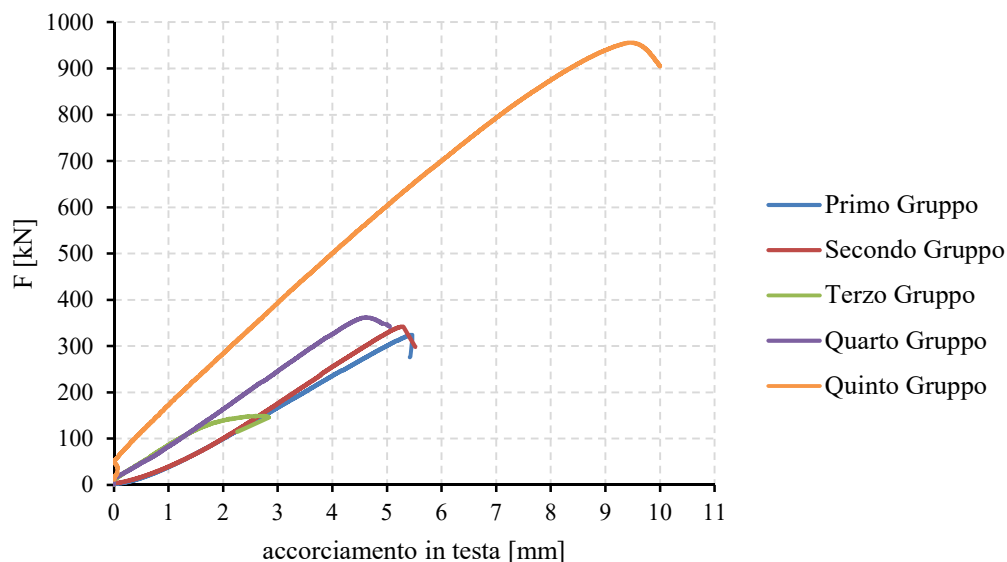


Fig. 5.488 Diagramma riepilogativo forza-accorciamento in testa

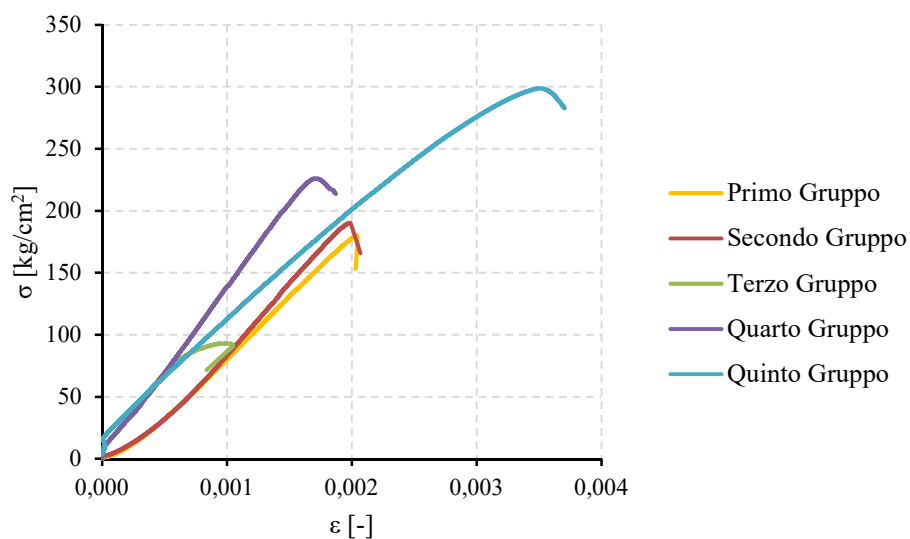


Fig. 5.489 Diagramma riepilogativo σ - ε

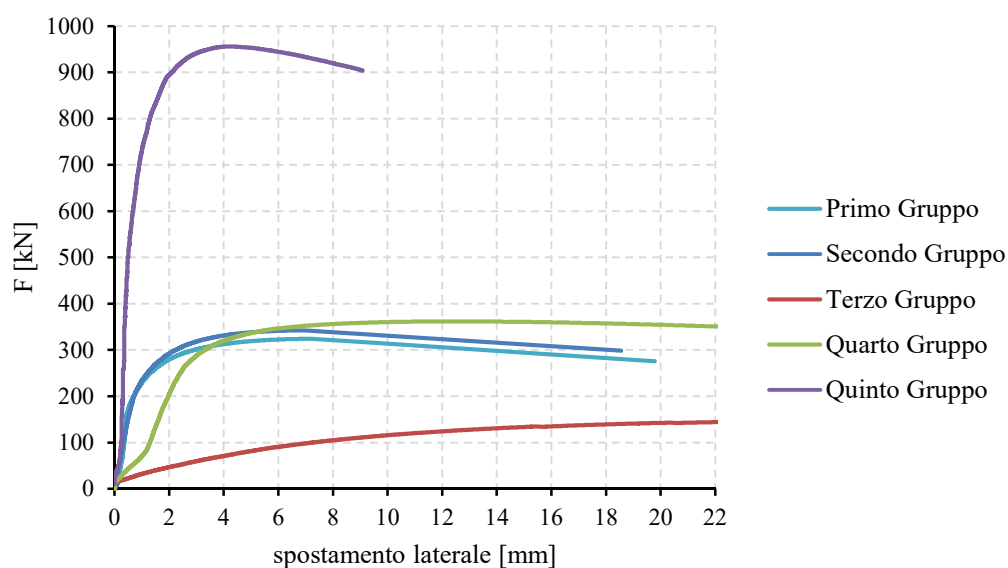


Fig. 5.490 Diagramma riepilogativo forza-spostamento laterale

Si riporta, di seguito, il riepilogo complessivo dei risultati delle prove effettuate (Tab. 5.191).

Gruppo	Provino	F_{crit} [kN]	$w_{F_{crit}}$ [mm]	$d_{F_{crit}}$ [mm]	$\sigma_{critica}$ [kg/cm ²]	σ_{med} [kg/cm ²]	$\sigma_{med,tot}$ [kg/cm ²]
Primo Gruppo	P.I.0	355,5	5,6	5,1	197,5	187,5	202,9
	P.I.1	349,7	5,5	11,7	194,3		
	P.I.2	314,7	5,4	11,5	174,8		
	P.I.3	329,9	6,5	9,7	183,3		
Secondo Gruppo	P.I.4	347,7	6,2	15,1	193,1	218,2	
	P.I.5	412,9	6,4	9,2	229,4		
	P.I.6	417,9	5,7	10,3	232,2		
Terzo Gruppo	P.I.7	148,8	2,7	31,8	92,0	/	/
Quarto Gruppo	P.I.8	361,7	4,6	12,6	226,1	/	
Quinto Gruppo	P.I.9	955,2	9,4	4,1	298,7	/	

Tab. 5.191 Tabella riepilogativa dei risultati (prove di instabilità)

CAPITOLO 6

ELABORAZIONI NUMERICHE

6.1. Introduzione

Nel seguente capitolo sono state svolte delle elaborazioni numeriche su base teorica delle prove effettuate durante la campagna sperimentale. Queste analisi sono partite da brevi cenni della teoria classica della Scienza delle Costruzioni. In particolare sono state richiamate, molto brevemente, la teoria della instabilità di aste compresse introdotta da Eulero (1744) e la teoria della trave di De Saint Venant (1855).

Il problema della trave di De Saint Venant

Il De Saint Venant ha ricavato la soluzione esatta del problema dell'equilibrio elastico per un particolare corpo avente la forma di un cilindro retto e sotto alcune ipotesi geometriche e meccaniche. Tale soluzione è di estrema utilità nelle applicazioni in quanto, con buona approssimazione, essa consente di ricavare lo stato di tensione e di deformazione in ogni punto di una sezione retta di una trave una volta che le caratteristiche della sollecitazione su essa agenti sono state calcolate mediante la modellazione monodimensionale.

Nel seguito si esporranno le ipotesi di base della teoria e si ricaveranno i risultati più importanti per le applicazioni meccaniche.

Le ipotesi alla base della teoria del De Saint Venant sono di quattro tipi:

- Ipotesi geometriche: la configurazione indeformata del solido definisce un cilindro retto di lunghezza come mostrato in Figura 6.1;

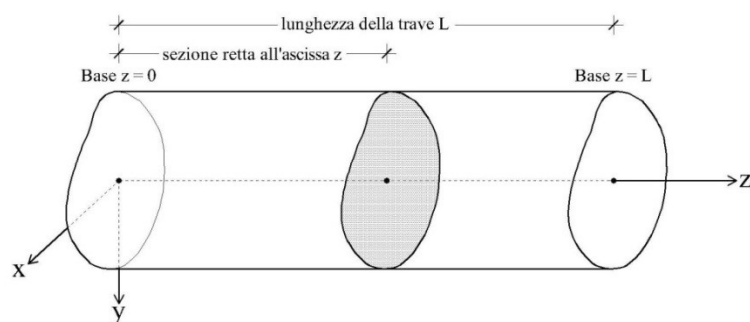


Fig. 6.1 Geometria del solido “trave”

- Ipotesi costitutive: il materiale è linearmente elastico, omogeneo ed isotropo;

- Ipotesi sui carichi: le forze di volume sono nulle e la superficie laterale del cilindro è scarico. Il solido è dunque solamente caricato con una distribuzione di forze superficiali agenti sulle due basi che globalmente costituiscono un sistema equivalente a zero.
- Ipotesi sullo stato tensionale: le fibre longitudinali della trave, ovvero parallele all'asse z , si scambiano tra loro solamente tensioni tangenziali. In particolare l'ipotesi sullo stato tensionale si sintetizza in componenti nella relazione:

$$\sigma_x = \sigma_y = \tau_{yx}$$

Pertanto le uniche componenti non nulle della tensione sono le due componenti tangenziali τ_{zx} τ_{zy} , e la componente normale σ_z . In ogni punto della trave, dunque, il tensore delle tensioni rispetto alla base del sistema di riferimento si scrive:

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \tau_{zx} \\ 0 & 0 & \tau_{zy} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} \quad (6.48)$$

Lo stato di tensione così definito è ovviamente uno stato tensionale piano.

Si consideri la trave in due parti con un piano parallelo a xy , alla generica ascissa z , e si consideri la parte che va dalla base $z = 0$ all'ascissa z (Fig. 6.2). In ogni punto del sezionamento la normale uscente dalla parte considerata coincide con k , ovvero il versore dell'asse z .

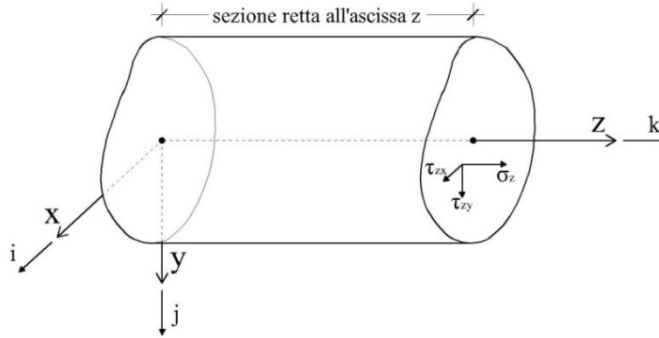


Fig. 6.2 Vettore tensione in un punto della sezione retta

Il vettore tensione agente nel generico punto della sezione retta sarà dunque dato da:

$$t(k) = T k = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \tau_{zx} \\ 0 & 0 & \tau_{zy} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_{zx} \\ \tau_{zy} \\ \sigma_z \end{bmatrix} \quad (6.49)$$

e risulta la composizione della tensione normale σ_z , agente nella direzione k , e della componente tangenziale τ_z :

$$t(k) = \sigma_z k + \tau_z \quad \text{dove} \quad \tau_z = \begin{bmatrix} \tau_{zx} \\ \tau_{zy} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6.50)$$

Si verifica, pertanto, che τ_z e k individuano il piano delle tensioni.

La risultante dei vettori tensioni sulla sezione retta della trave all'ascissa z considerata in precedenza è data da:

$$R(z) = \int t(k) dA = \begin{bmatrix} \int_A \tau_{zx} dA \\ \int_A \tau_{zy} dA \\ \int_A \sigma_z dA \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ N \end{bmatrix} \quad (6.51)$$

Le prime due componenti, ovvero T_x e T_y , sono le componenti dello sforzo di taglio T

$$T = \int_A \tau_z dA = \begin{bmatrix} \int_A \tau_{zx} dA \\ \int_A \tau_{zy} dA \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6.52)$$

che dunque agisce nel piano della sezione. La terza componente, agente nella direzione dell'asse z , è lo sforzo normale:

$$N = \int_A \sigma_z dA \quad (6.53)$$

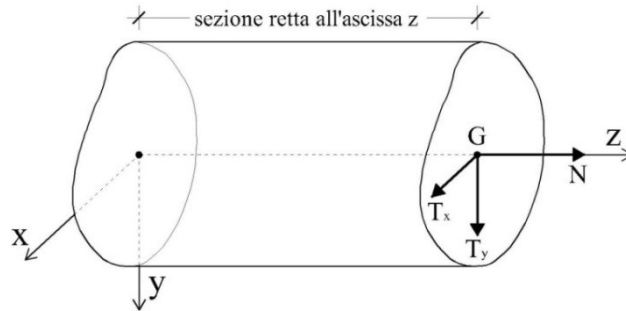


Fig. 6.3 Risultante dei vettori tensione sulla sezione

Il momento risultante rispetto al baricentro G della sezione retta, di posizione

$$x_G = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ z \end{bmatrix} \quad (6.54)$$

è dato da:

$$M_G = \int_A [(x - x_G) \times t(k)] dA \quad (6.55)$$

Si ha inoltre (Fig. 6.23):

$$r = x - x_G = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x \\ y \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6.56)$$

e quindi:

$$(x - x_G) \times t(k) = \begin{bmatrix} \sigma_z y \\ -\sigma_z x \\ \tau_{zy} - \tau_{zx} y \end{bmatrix} \quad (6.57)$$

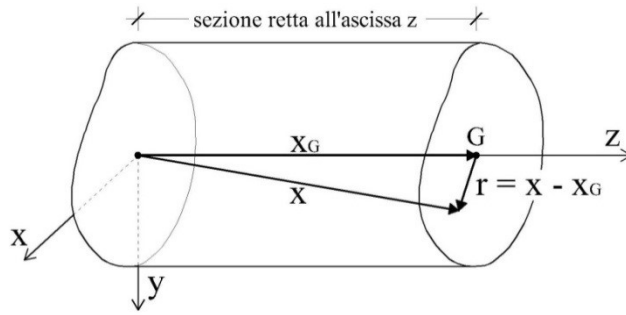


Fig. 6.4 Vettore posizione rispetto al baricentro G della sezione retta

Sostituendo la (6.57) nella (6.55), si ha:

$$M = \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad \text{con:} \quad \begin{cases} M_x = \int \sigma_z y \, dA \\ M_y = - \int \sigma_z x \, dA \\ M_z = \int (\tau_{zy} x - \tau_{zx} y) \, dA \end{cases} \quad (6.58)$$

Le prime due componenti sono associate alla sollecitazione di flessione, e rappresentano le due componenti del momento flettente M_f , mentre la terza componente è associata alla sollecitazione di torsione, ed è detta momento torcente M_z (Fig. 6.5).

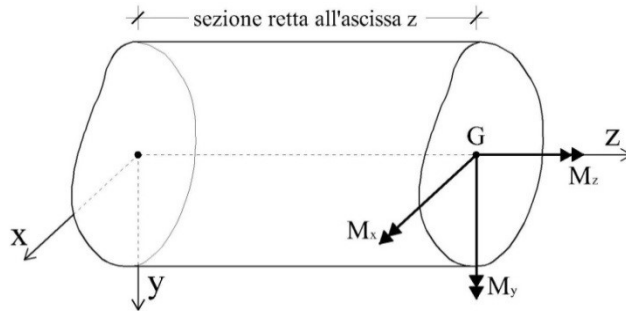


Fig. 6.5 Momento risultante dei vettori tensione sulla sezione retta rispetto al baricentro G

Riassumendo, le caratteristiche della sollecitazione agente sulla sezione sono rappresentate dallo sforzo normale N (che è uno scalare), dal momento flettente M_f (che è un vettore parallelo al piano xy avente per componenti M_x e M_y), lo sforzo di taglio T (che è un vettore parallelo al piano xy avente per componenti T_x e T_y) ed il momento torcente M_t (che è uno scalare).

Sforzo normale: $N = \int \sigma_z \, dA$

Momento flettente: $M_f = \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{con:} \quad \begin{cases} M_x = \int_A \sigma_z y \, dA \\ M_y = - \int_A \sigma_z x \, dA \end{cases} \quad (6.59)$

Taglio: $T = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{con:} \quad \begin{cases} T_x = \int \tau_{zx} \, dA \\ T_y = \int \tau_{zy} \, dA \end{cases}$

Momento torcente:
$$M_z = \int (\tau_{zy}x - \tau_{zx}y) dA$$

Sforzo normale centrato

Si considera il solido di de Saint Venant sollecitato sulle due basi da distribuzioni di azioni equivalenti a due forze uguali e opposte di intensità N , parallele all'asse z e applicate nei baricentri delle sezioni (Fig. 6.6).

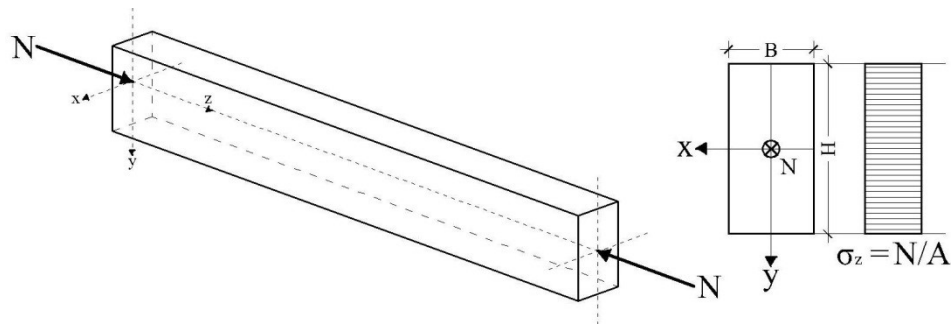


Fig. 6.6 Sforzo normale centrato

Nella trave è quindi presente unicamente la sollecitazione di sforzo normale N che risulta costante nella trave. Il presente caso elementare viene denominato *sforzo normale centrato*.

Le tensioni normali, ovvero parallele all'asse della trave, sono uniformi e pari a:

$$\sigma_z = \frac{N}{A} \quad (6.60)$$

dove A rappresenta l'area della sezione trasversale della trave.

In questo caso, la tensione normale σ_z rappresenta l'unica componente non nulla del tensore delle tensioni.

Flessione retta

Nel caso della flessione retta al solido di de Saint Venant sono applicate alle basi distribuzioni di carichi corrispondenti a due coppie agenti in un piano contenente una direzione principale d'inerzia della sezione chiamato piano di sollecitazione.

Nel seguito si suppone che sia applicata la coppia M_x con asse vettore parallelo ed equiverso all'asse principale d'inerzia (Fig. 6.7).

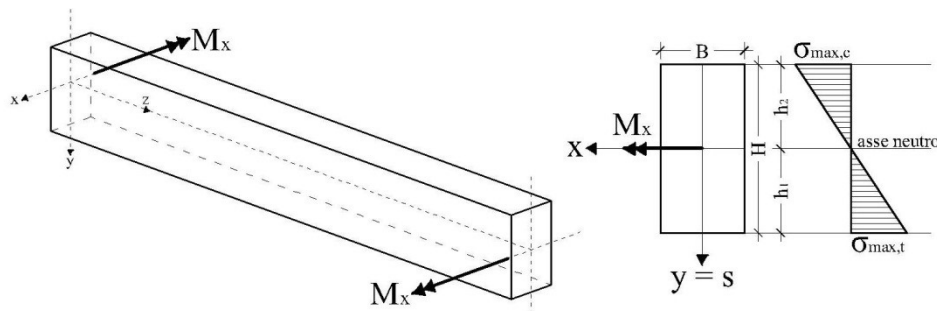


Fig. 6.7 Flessione retta

Anche nel caso di flessione retta, l'unica componente diversa da zero del tensore delle tensioni è la tensione normale σ_z , costante lungo l'asse della trave, che varia proporzionalmente alla distanza dall'asse neutro:

$$\sigma_z = \frac{M_x}{I_x} y \quad (6.61)$$

La (6.54) viene indicata come *formula di Navier per la flessione retta*. La tensione si annulla in corrispondenza dell'asse neutro. L'asse y baricentrico e ortogonale all'asse neutro si dice asse di sollecitazione s . Accettando tali denominazioni può si può dunque affermare che nella flessione retta asse neutro e asse di sollecitazione sono mutuamente ortogonali.

L'andamento lineare delle σ_z comporta che i valori massimi, di trazione e compressione, delle tensioni si riscontrino nelle fibre più distanti dall'asse neutro. Siano h_1 e h_2 le distanze dall'asse neutro rispettivamente dal lembo teso e compresso (Fig. 6.7).

Per una sezione rettangolare, le tensioni massime di trazione e compressione risultano dunque:

$$\sigma_{\max,t} = \frac{M_x}{I_x} \frac{H}{2} = \frac{M_x}{W} = \frac{6M_x}{BH^2} \quad \text{per } y = \frac{H}{2} \quad (6.62)$$

$$\sigma_{\max,c} = \frac{M_x}{I_x} \left(-\frac{H}{2} \right) = -\frac{M_x}{W} = -\frac{6M_x}{BH^2} \quad \text{per } y = -\frac{H}{2} \quad (6.63)$$

dove il rapporto $BH^2/6$ rappresenta il modulo di resistenza della sezione trasversale della trave denominato con W .

Taglio: trattazione approssimata di Jourawski

La soluzione esatta del problema per questo tipo di sollecitazione è piuttosto complessa, per cui si prenderà in esame una trattazione approssimata, sviluppata dall'ingegnere russo Jourawski nella seconda metà dell'800, che è molto utilizzata nelle applicazioni ingegneristiche. Essa si basa solamente su considerazioni di equilibrio.

Si consideri la generica sezione retta riportata in Figura 6.8 ed un segmento \overline{AB} , detto anche corda, che la divida in due parti complementari A^I ed A^{II} .

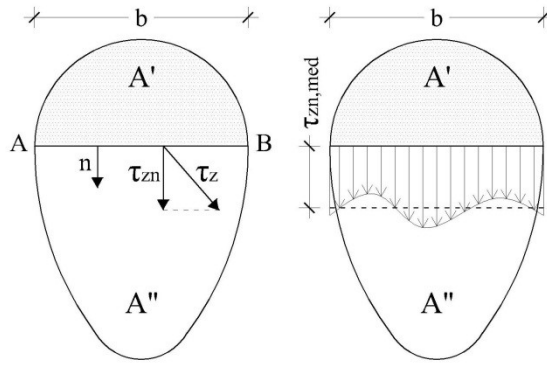


Fig. 6.8 Flusso uscente da A^I

Il flusso del campo delle τ_z uscente da A^* è definito come:

$$\oint_{\partial A^I} \tau_z \cdot n \, ds = \int_{\partial A_{\text{cont}}^{II}} \tau_z \cdot n \, ds + \int_{AB} \tau_z \cdot n \, ds \quad (6.64)$$

dove si è decomposto il contorno ∂A^* nell'unione di quello coincidente con parte del contorno della sezione, indicato con $\partial A_{\text{cont}}^{II}$, e della corda \overline{AB} , e dove n indica la normale uscente.

Il primo termine al secondo membro della (6.64) è nullo in quanto le tensioni tangenziali sono tangenti al contorno. Pertanto, indicando con $\tau_{zn} = \tau_z \cdot n$ la componente di τ_z normale alla corda, e con $\tau_{zn,med}$ il suo valore medio sulla corda, la (6.64) fornisce:

$$\oint_{\partial A^I} \tau_z \cdot n \, ds = \int_{AB} \tau_{zn} \, ds = \tau_{zn,med} \, b \quad (6.65)$$

dove b indica la lunghezza della corda \overline{AB} (Fig. 6.8)

D'altra parte, nel caso del taglio sono presenti in generale tutte e tre le componenti σ_z , τ_{zx} e τ_{zy} . In particolare la terza equazione differenziale di equilibrio fornisce la relazione:

$$\text{div } \tau_z = - \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} \quad (6.66)$$

Applicando allora il teorema della divergenza all'area A^{II} , si ottiene:

$$\oint_{\partial A^I} \tau_z \cdot n \, ds = \int_{AB} \text{div } \tau_z \, dA = - \int_{A^I} \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} \quad (6.67)$$

Conviene utilizzare l'espressione della σ_z fornita dalla formula monomia della flessione retta, ovvero la (6.61), assumendo x coincidente con l'asse neutro della flessione associata al taglio:

$$\sigma_z = \frac{M_x}{I_x} y \quad (6.68)$$

dalla quale si ottiene:

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{M_x}{I_x} y \right) = \frac{y}{I_x} \frac{dM_x}{dz} \quad (6.69)$$

in quanto sia I_x che y non dipendono da z . Si verifica poi facilmente che la derivata del momento M_x rispetto a z è alla componente T_y del taglio:

$$\frac{dM_x}{dz} = T_y \quad (6.70)$$

Combinando le relazioni (6.67) e (6.70) si ottiene:

$$\oint_{\partial A^I} \tau_z \cdot \mathbf{n} \, ds = - \frac{T_y}{I_x} \int_{A^I} y \, dA = - \frac{T_y S_y^I}{I_x} \quad (6.71)$$

dove S_y^I rappresenta il momento statico dell'area A^I rispetto all'asse y , ovvero rispetto all'asse neutro.

Confrontando la relazione precedente con la (6.65) si ottiene la relazione:

$$\tau_{zn,med} = - \frac{T_y S_n^I}{I_x b} \quad (6.72)$$

Questa relazione è esatta in quanto non si è fatta alcuna approssimazione fino a questo punto. Essa però fornisce il valore medio della τ_{zn} lungo la corda ma non il valore puntuale, che in generale sarà variabile lungo la corda stessa. L'approssimazione che viene allora fatta nella maggioranza delle applicazioni è quella di ritenere, laddove lo si ritenga accettabile con la precisione richiesta nel calcolo, che la τ_{zn} risulti costante lungo la corda. In tal modo si può sostituire il valore medio $\tau_{zn,med}$ con quello puntuale τ_{zn} nella (6.72) ed ottenere dunque la seguente relazione, nota come *formula di Jourawski*:

$$\tau_{zn} = - \frac{T_y S_n^I}{I_x b} \quad (6.73)$$

Come si è detto, la formula di Jourawski è basata su sole considerazioni di equilibrio.

Si consideri la sezione BxH soggetta ad uno sforzo di taglio T secondo la direzione principale y , come illustrato in Figura 6.9.

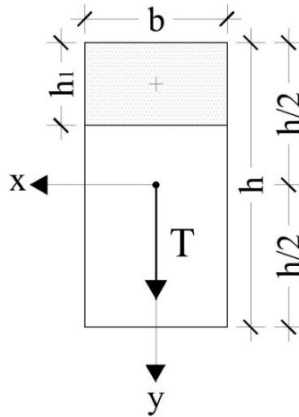


Fig. 6.9 Sezione rettangolare soggetta a taglio

Identificata la generica corda \overline{AB} parallela all'asse neutro, a distanza y_2 da esso, il momento statico dell'area campita rispetto all'asse x , ovvero all'asse neutro, è fornito da:

$$S_x^I = b \left(\frac{h}{2} - h_1 \right) \left(\frac{h}{2} - \frac{h_1}{2} \right) \quad (6.74)$$

e poiché il momento d'inerzia I_x dell'intera sezione è pari a $bh^3/12$ si ha subito, per la formula di Jourawski:

$$\tau_{zn} = - \frac{T \left[b h_1 \left(\frac{h}{2} - \frac{h_1}{2} \right) \right]}{\frac{bh^3}{12} b} \quad (6.75)$$

La componente di tensione τ_{zn} varia con legge parabolica lungo l'altezza della sezione, si annulla agli estremi dove $h_1 = \pm h/2$, e raggiunge il valore massimo corrispondenza dell'asse neutro, ovvero per $h_1 = h/2$ (Fig. 6.10).

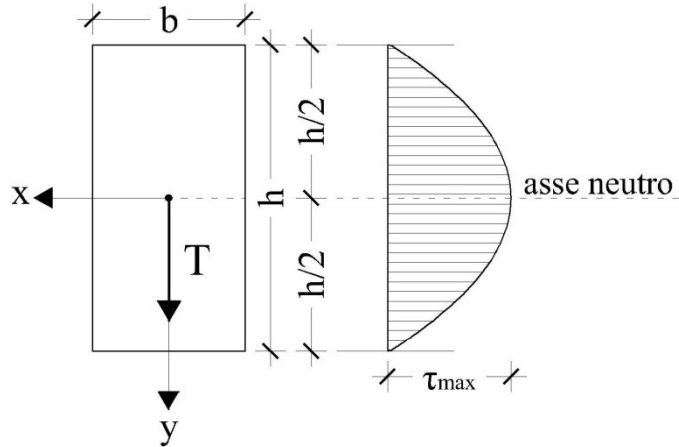


Fig. 6.10 Diagramma delle tensioni tangenziali per una sezione rettangolare

La tensione tangenziale massima τ_{\max} vale:

$$|\tau_{\max}| = \frac{3}{2} \frac{T}{bh} \quad (6.76)$$

Teoria di Eulero sull'instabilità da aste compresse

Oggetto di questo paragrafo è la determinazione del carico critico per travi di una campata caricate di punta, problema che fu per la prima volta risolto da Eulero.

In generale, la sollecitazione in un'asta realizzata con un materiale elastico lineare, soggetta ad uno sforzo normale centrato N e vincolata agli estremi con lo schema di semplice appoggio (Fig. 6.11), nell'ipotesi di asta indeformata è semplicemente $\sigma = N/A$. Dove A è l'area della sezione trasversale.

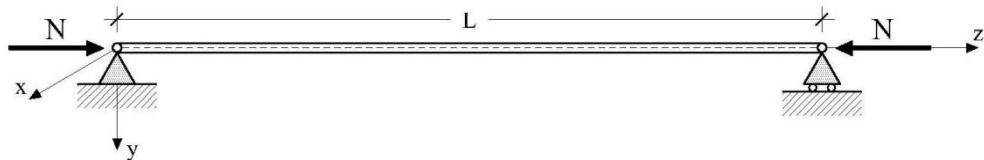


Fig. 6.11 Schema dell'asta di Eulero

Supponendo che l'asta subisca uno sbandamento laterale in modo che la sua linea d'asse sia descritta dalla curva di equazione $v(z)$, illustrata in Figura 6.12, la forza N produce anche un momento $N v(z)$, a cui si oppone il momento interno che, se si confonde la curvatura con la derivata seconda, è $EI v''(z)$.

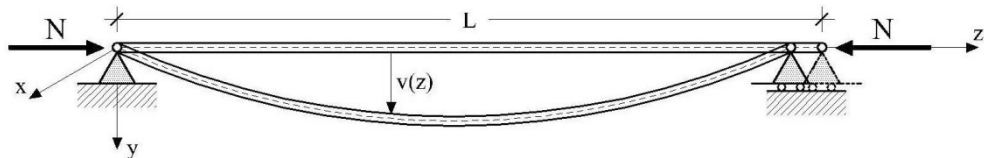


Fig. 6.12 Sbandamento dell'asta

La condizione di equilibrio, per cui la configurazione deformata è in equilibrio con la forza esterna, impone che:

$$EI v''(z) + N v(z) = 0 \quad (6.1)$$

La soluzione cercata deve soddisfare l'equazione (6.1) e le condizioni al contorno:

$$v(z = 0) = 0 \quad [\text{spostamento verticale per } z = 0 \text{ nullo}] \quad (6.2)$$

$$v(z = L) = 0 \quad [\text{spostamento verticale per } z = L \text{ nullo}] \quad (6.3)$$

La soluzione dell'equazione (6.1) è:

$$v(z) = A \cos(\alpha z) + B \sin(\alpha z) \quad (6.4)$$

dove

$$\alpha = \sqrt{N/EI} \quad (6.5)$$

e A e B sono costanti che dipendono dalle condizioni al contorno.

Dalla condizione $v(z = 0) = A = 0$, segue che la prima delle due costanti è nulla; dalla (6.3) segue $v(z = L) = B \sin(\alpha L) = 0$.

Questa equazione ha due soluzioni possibili: se $\sin(\alpha L) \neq 0$, deve risultare $B = 0$; in questo caso la soluzione dell'equazione (6.1) con le condizioni al contorno (6.2 e 6.3) è $v(z) = 0$, ovvero la sola configurazione di equilibrio è quella indeformata. Se $\sin(\alpha L) = 0$ allora la condizione al contorno è soddisfatta per qualunque valore di B, pertanto esistono infinite configurazioni equilibrate.

La condizione $\sin(\alpha L) = 0$ implica che $\alpha L = n\pi$, dove n indica un intero positivo. Ricordando la definizione (6.5) di α , si ha che la precedente condizione è soddisfatta se:

$$\frac{N}{EI} L^2 = n^2 \pi^2 \quad (6.6)$$

e questo si verifica per quei valori di N tali che:

$$N_n = n^2 \pi^2 \frac{EI}{L^2} \quad (6.7)$$

Il più piccolo dei valori di N_n corrisponde al passaggio da una condizione di equilibrio stabile ad una instabile. Tale valore è quello per $n = 1$, ed è detto il *carico critico euleriano* dell'asta compressa:

$$N_{\text{crit}} = \pi^2 \frac{EI_{\text{min}}}{l_0^2} \quad (6.8)$$

dove l_0 viene definita *lunghezza libera d'inflessione* e risulta proporzionale alla lunghezza reale della trave attraverso un coefficiente numerico che dipende dalle condizioni di vincolo. In particolare, la lunghezza libera di inflessione l_0 rappresenta anche la distanza fra due successivi punti di flesso in cui curvature e momenti si annullano. È peraltro evidente dalla (6.8) che più è grande la lunghezza libera di inflessione di una trave più è basso il carico critico e quindi più grande diventa il pericolo che la struttura si allontani dalla configurazione iniziale.

Inoltre, è evidente che il momento d'inerzia I non può che rappresentare uno dei momenti principali I_x o I_y . Poiché si è definito come carico critico il più piccolo valore del carico N per cui è possibile una configurazione d'equilibrio diversa da quella indeformata, deve risultare:

$$I = \min [I_x, I_y] \quad (6.9)$$

La trattazione fin ora svolta presuppone un comportamento elastico lineare delle aste, ma ovviamente nessun materiale si mantiene tale oltre un dato livello di sforzo; raggiunto il limite di snervamento f_y il diagramma sforzo deformazione non è più lineare e qualitativamente, per un materiale duttile, la curva

ottenuta mediante una prova di trazione uniassiale si presenta come in Figura 6.13, dove f_t indica la tensione ultima di rottura del materiale.

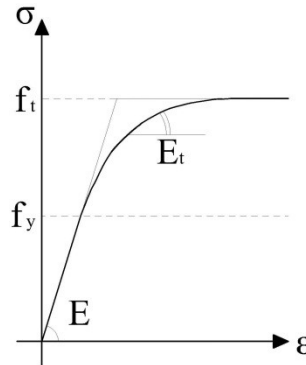


Fig. 6.13 Diagramma σ - ε prova di trazione uniassiale

Per discutere i limiti di validità dei risultati ottenuti si considera la *tensione normale di Eulero* σ_E , ovvero la tensione corrispondente alla formula di Eulero (6.8)

$$\sigma_E = \frac{N_{crit}}{A} = \pi^2 \frac{E I_{min}}{l_0^2 A} = \pi^2 \frac{E \rho_{min}^2}{l_0^2} \leq f_y \quad (6.10)$$

È detta *snellezza* dell'asta il rapporto adimensionale:

$$\lambda = l_0 / \rho_{min} \quad (6.11)$$

Fra lunghezza libera d'inflessione e raggio minimo d'inerzia, la tensione euleriana σ_E diviene:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (6.12)$$

L'equazione (6.12), riportata in un grafico avente sull'asse delle ordinate la tensione normale σ e su quello delle ascisse la snellezza λ^2 , rappresenta un'iperbole di equazione definita appunto *iperbole di Eulero* (Fig. 6.14).

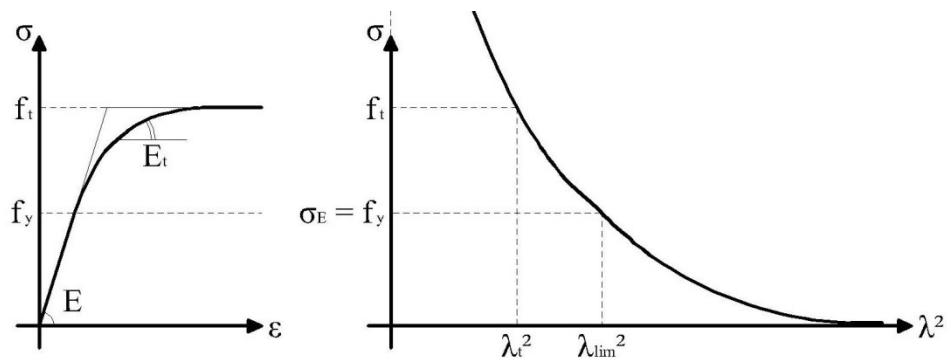


Fig. 6.14 Iperbole di Eulero

Il valore della *snellezza limite* λ_{lim} , per cui la tensione critica euleriana è pari a quella limite di snervamento, $\sigma_{crit} = f_y$, risulta:

$$\lambda_{lim} = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (6.13)$$

Solo per travi di snellezza maggiore di λ_{lim} l'ipotesi di comportamento elastico lineare, su cui è basata la formula di Eulero, è verificata. Poiché dipende solo dal modulo elastico iniziale E e dal limite di snervamento f_y , essa rappresenta una proprietà del materiale. Per valori di snellezza inferiori il materiale ha un comportamento non più lineare che è caratterizzato dal modulo tangente E_t , definito con riferimento al diagramma di Figura 6.14.

Indicando con σ_{crit} la tensione corrispondente al carico critico dell'asta, considerando il comportamento non lineare del materiale risulta:

$$\sigma_{crit}(\lambda) = \begin{cases} \sigma_E = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} & \text{se } \lambda \geq \lambda_{lim} \\ \sigma_S = \frac{\pi^2 E_t}{\lambda^2} & \text{se } \lambda \leq \lambda_{lim} \end{cases} \quad (6.14)$$

Il risultato è riassunto nel grafico di Figura 6.15, noto come *curva di stabilità*.

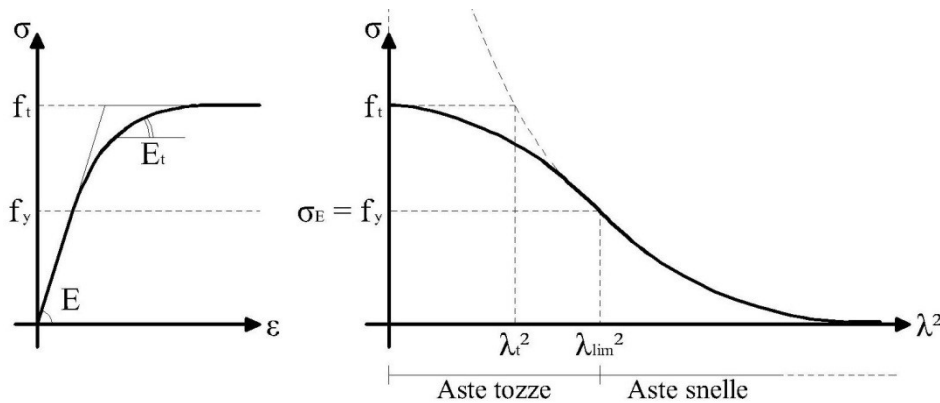


Fig. 6.15 Curva di stabilità per aste compresse

Il valore di σ_{crit} viene riportato in funzione della snellezza λ e l'ordinata rappresenta, a meno dell'area A della trave, il carico critico teorico. La snellezza limite λ_{lim} delimita l'intervallo relativo alle *aste snelle* ($\lambda > \lambda_{lim}$), per la quale l'instabilità avviene in campo elastico ed è descritta dalla formula di Eulero, da quello delle *aste tozze* ($0 < \lambda < \lambda_{lim}$), in cui prima dell'instabilità il materiale ha un comportamento non lineare. La dipendenza del carico critico dal modulo tangente fu provata in modo definitivo da Shanley e la seconda della (6.14) è nota come *formula di Shanley*.

Dalla (6.12) e dalla (6.13) si deduce che:

$$\frac{\sigma_{crit}}{f_y} = \frac{1}{\lambda^2} \pi^2 \frac{E}{f_y} = \left(\frac{\lambda_{lim}}{\lambda} \right)^2 \quad (6.15)$$

Posto $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_{lim}}$ (snellezza adimensionalizzata) e $\bar{\gamma} = \frac{\sigma_{crit}}{f_y}$ (tensione critica adimensionalizzata alla tensione di proporzionalità) l'equazione (6.15) diviene:

$$\bar{\gamma} = \frac{1}{\bar{\lambda}^2} \quad (6.16)$$

L'equazione (6.16) è un'iperbole cubica in forma normalizzata ed è rappresentata in Figura 6.6; la curva è interrotta in corrispondenza del valore $\bar{\lambda} = 1$ (ossia per $\lambda = \lambda_{lim}$) in quanto per valori inferiori di λ la tensione critica supera quella di snervamento del materiale. Nel modello ideale ora analizzato, per

aste con snellezza inferiore a λ_{lim} il limite di resistenza è dato dallo snervamento del materiale (aste tozze), mentre per aste con snellezza maggiore di λ_{lim} la crisi si raggiunge prima per instabilità, quando la tensione prende il valore critico, fornito dall'equazione (6.14) o dalla Figura 6.15.

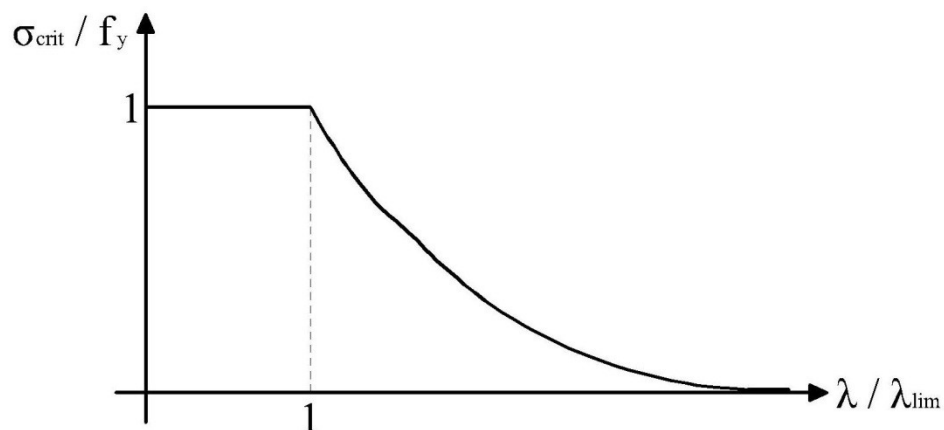


Fig. 6.16 Iperbole di Eulero in forma normalizzata

L'insorgere dell'instabilità in aste reali è un fenomeno assai più complesso e dipende dall'inevitabile presenza di imperfezioni che influenzano la capacità portante delle aste compresse, quali: piccole eccentricità del carico, curvatura iniziale della linea d'asse ecc.

6.2 Applicazione della teoria alle prove sperimentali

In merito all'analisi sperimentale svolta sulle tavole in legno strutturale soggette a flessione e sui provini di legno netto soggetti a sforzo centrato di compressione, in questo paragrafo si riportano brevi relazioni, diagrammi riepilogativi ed elaborazioni numeriche su base teorica della campagna di prove effettuata.

6.2.1 Prove a flessione su tavole in legno strutturale

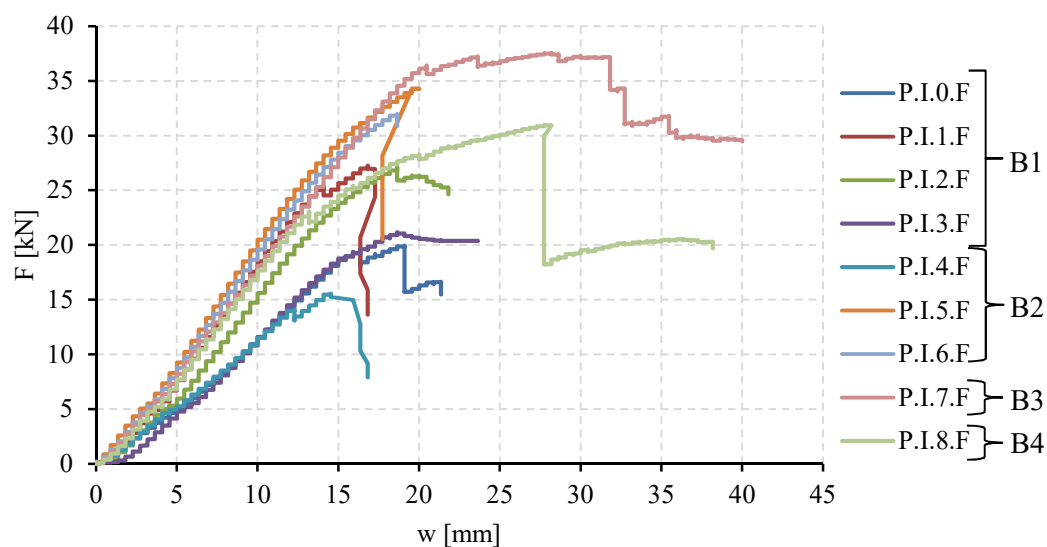


Fig. 6.17 Diagramma riepilogativo forza-abbassamento con divisione in sotto-gruppi

Per i quattro sotto-gruppi, sono rappresentati i diagrammi forza-abbassamento (Fig. 6.17).

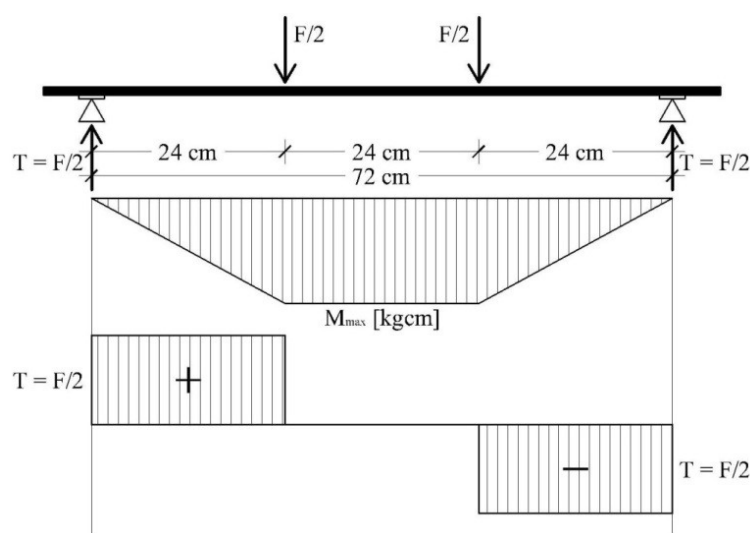


Fig. 6.18 Diagramma momento flettente e taglio (prove a flessione su tavole)

Per la valutazione della tensione massima, conoscendo la forza massima agente, si è ricavato il valore del momento massimo in mezzeria (M_{max}). Secondo la configurazione di prova riportata in Figura 6.18, il momento massimo è costante tra i due coltelli di carico.

Pertanto la tensione massima da flessione, ricavata dalla teoria di *Navier* per la flessione retta, sarà pari a:

$$\sigma_{\text{fless}} = \frac{M_{\text{max}}}{I_n} y = \frac{M_{\text{max}}}{W_{\text{el}}} \quad (6.77)$$

In Tabella 6.1 viene riportato un quadro riassuntivo dei risultati ottenuti per tutti i provini testati. In essa M_{max} e σ_{fless} indicano rispettivamente il momento massimo in mezzeria e la tensione normale corrispondente; F_{max} la forza massima agente; W_{el} il modulo di resistenza elastico $\left(\frac{b \times h^2}{6}\right)$.

Sotto-gruppo	Provino	F_{max} [kg]	M_{max} [kgcm]	W_{el} [cm ³]	σ_{fless} [kg/cm ²]
B1	P.I.0.F	1993,7	23924,8	60	398,7
	P.I.1.F	2723,9	32686,6	60	544,8
	P.I.2.F	2709,2	32510,1	60	541,8
	P.I.3.F	2117,2	25406,6	60	423,4
B2	P.I.4.F	1554,4	18652,3	60	310,9
	P.I.5.F	3428,3	41139,6	60	685,7
	P.I.6.F	3195,7	38348,6	60	639,1
B3	P.I.7.F	3752,5	45029,6	53,3	844,3
B4	P.I.8.F	3093,7	37124,5	53,3	696,1
Media	/	/	/	/	565,1

Tab. 6.1 Scheda riepilogativa dei risultati

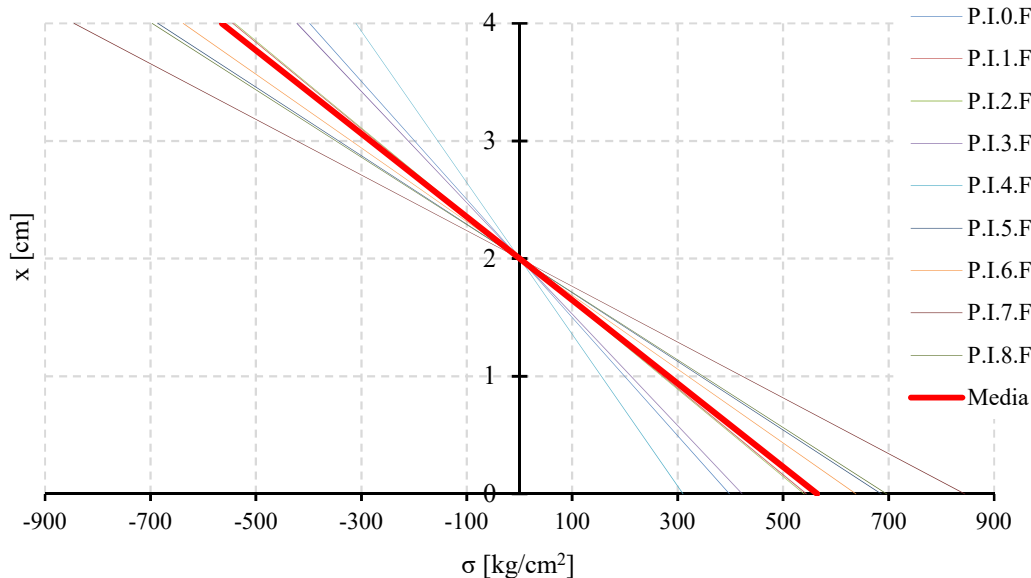


Fig. 6.19 Diagramma delle tensioni normali per i provini del Gruppo B

La tensione tangenziale massima τ_{max} ricavata mediante la trattazione approssimata di *Jourawski* vale:

$$|\tau_{\text{max}}| = \frac{3}{2} \frac{T}{bh} \quad (6.78)$$

In Tabella 6.2 viene riportato un quadro riassuntivo dei risultati ottenuti per tutti i provini testati. In essa T e τ indicano il taglio massimo, la tensione tangenziale massima e A^{trav} indica l'area trasversale della sezione considerata.

Sotto-gruppo	Provino	T [kg]	A^{trav} [cm ²]	τ [kg/cm ²]
B1	P.I.0.F	996,85	90	16,58
	P.I.1.F	1361,9	90	22,67
	P.I.2.F	1354,6	90	22,50
	P.I.3.F	1058,6	90	17,58
B2	P.I.4.F	777,2	90	12,92
	P.I.5.F	1714,15	90	28,58
	P.I.6.F	1597,85	90	26,58
B3	P.I.7.F	1876,25	80	35,18
B4	P.I.8.F	1546,85	80	29,01
Media	/	/	/	24,00

Tab. 6.2 Scheda riepilogativa dei risultati

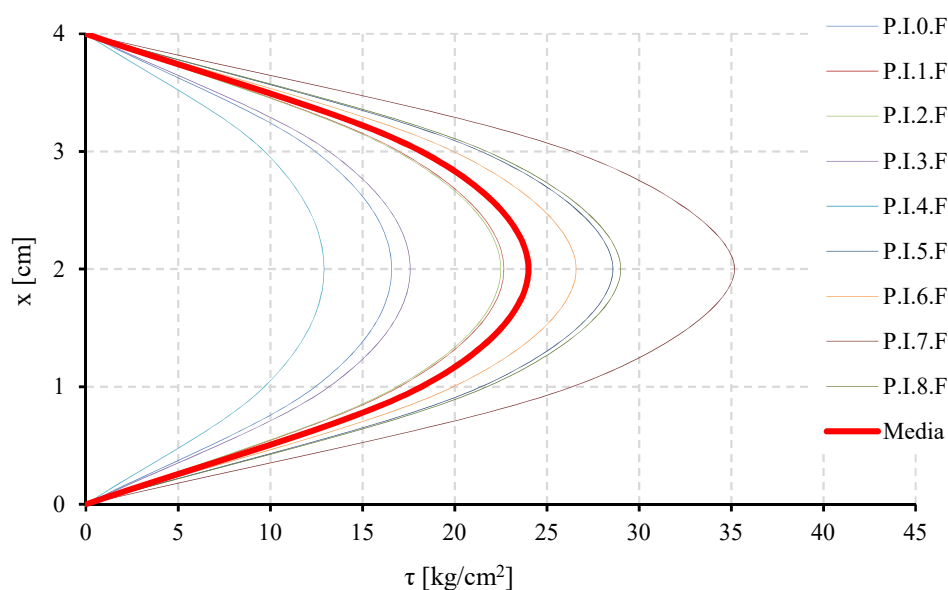


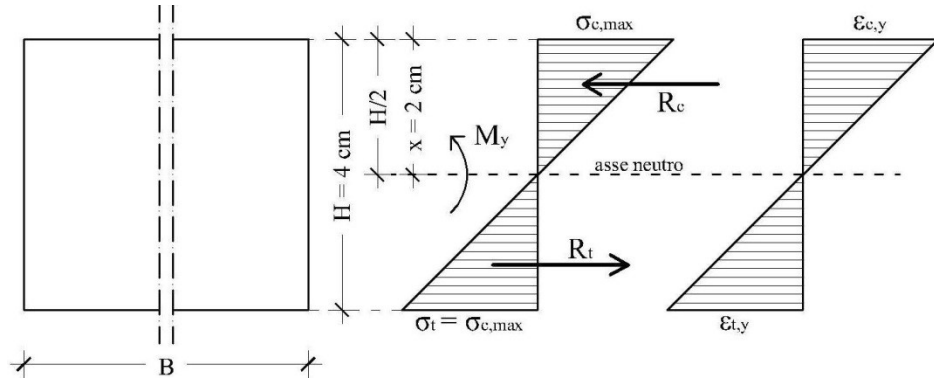
Fig. 6.20 Diagramma delle tensioni tangenziali per i provini del Gruppo B

Il comportamento reale delle tavole soggette a flessione si differenzia da quello ipotizzato precedentemente, ovvero quello che fa riferimento alla teoria elastica di Navier. Infatti esso è governato dalla tensione $\sigma_{c,\max}$, ovvero la massima tensione del legno a compressione ricavata dalle prove su provini di legno netto.

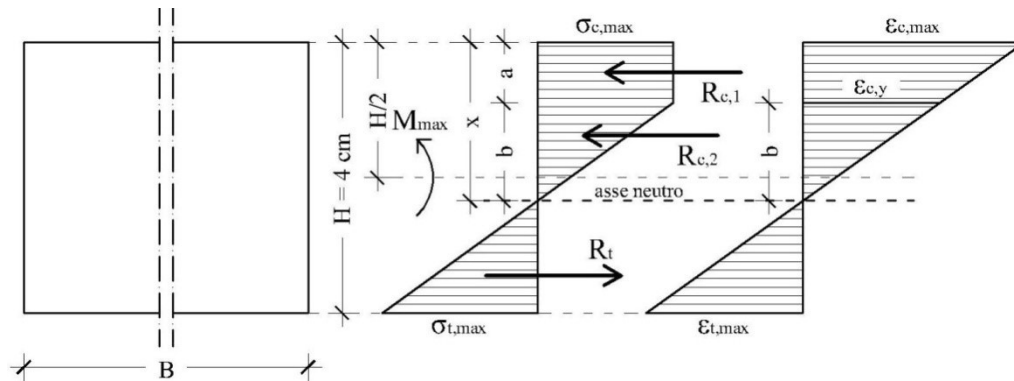
In merito al suo valore si possono verificare due casi:

- 1) $\sigma_{c,\max} \leq \sigma_{\text{fless}}$ dove σ_{fless} rappresenta la tensione massima a flessione della tavola nella ipotesi di Navier. Questo caso si riferisce ad una tavola in cui la tensione di compressione è minore

di quella a trazione da flessione. Questo implica un comportamento elasto-plastico in compressione della tavola fino ad arrivare alla rottura fragile a trazione della stessa. Quindi, una volta raggiunta la $\sigma_{c,max}$ al lembo superiore, la tavola comincia a plasticizzarsi generando un diagramma delle tensioni che non sarà più lineare (fittizio) ma elasto-plastico (reale). Per ogni provino si è ricavato dall'equilibrio alla traslazione orizzontale, la tensione massima di trazione $\sigma_{t,max}$ e la curvatura al limite di snervamento e quella ultima a rottura.



$$M_y = W_{el} \times \sigma_{c,max} \quad (6.79)$$



$$R_t = R_c \quad (6.80)$$

$$R_{c,1} = \sigma_{c,max} \times (x - b) \times B \quad (6.81)$$

$$R_{c,2} = \frac{\sigma_{c,max} \times b}{2} \times B \quad (6.82)$$

$$R_t = \frac{\sigma_{t,max} (H - x) \times B}{2} \quad (6.83)$$

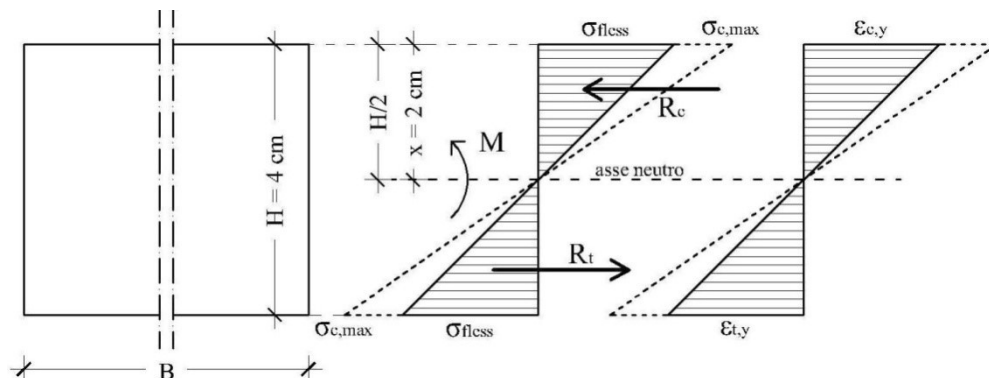
$$R_t = \frac{\sigma_{t,max} (H - x) \times B}{2} \quad (6.84)$$

$$b = \frac{\epsilon_{c,y} \times EI}{M_{max}} \quad (6.85)$$

$$\frac{\sigma_{t,max} \times (H - x) \times B}{2} = \sigma_{c,max} \times (x - b) \times B + \frac{\sigma_{c,max} \times b \times B}{2} \quad (6.86)$$

$$\frac{\sigma_{c,max}}{b} = \frac{\sigma_{c,max} + \sigma_{t,max}}{H - x + b} \quad (6.87)$$

- 2) $\sigma_{c,max} > \sigma_{fless}$. In questo caso il comportamento è governato esclusivamente dalla resistenza a trazione della tavola. Essa arriva a una rottura fragile a trazione prima di raggiungere la $\sigma_{c,max}$ al lembo superiore.



La differenza tra i due casi è che nel primo la presenza di difetti (nodi, deviazione della fibratura ecc.) non influenza la duttilità della sezione mentre nell'altro caso questi governano il comportamento della tavola.

Noti i valori di deformazione (allo snervamento e in condizioni ultime) è possibile ricavare i valori della duttilità secondo la (6.90) di ogni singola tavola come rapporto tra la curvatura ricavata al limite elastico secondo la (6.88) e la curvatura ultima secondo la (6.89).

$$\chi_y = \frac{2 \epsilon_y}{H} \quad (6.88)$$

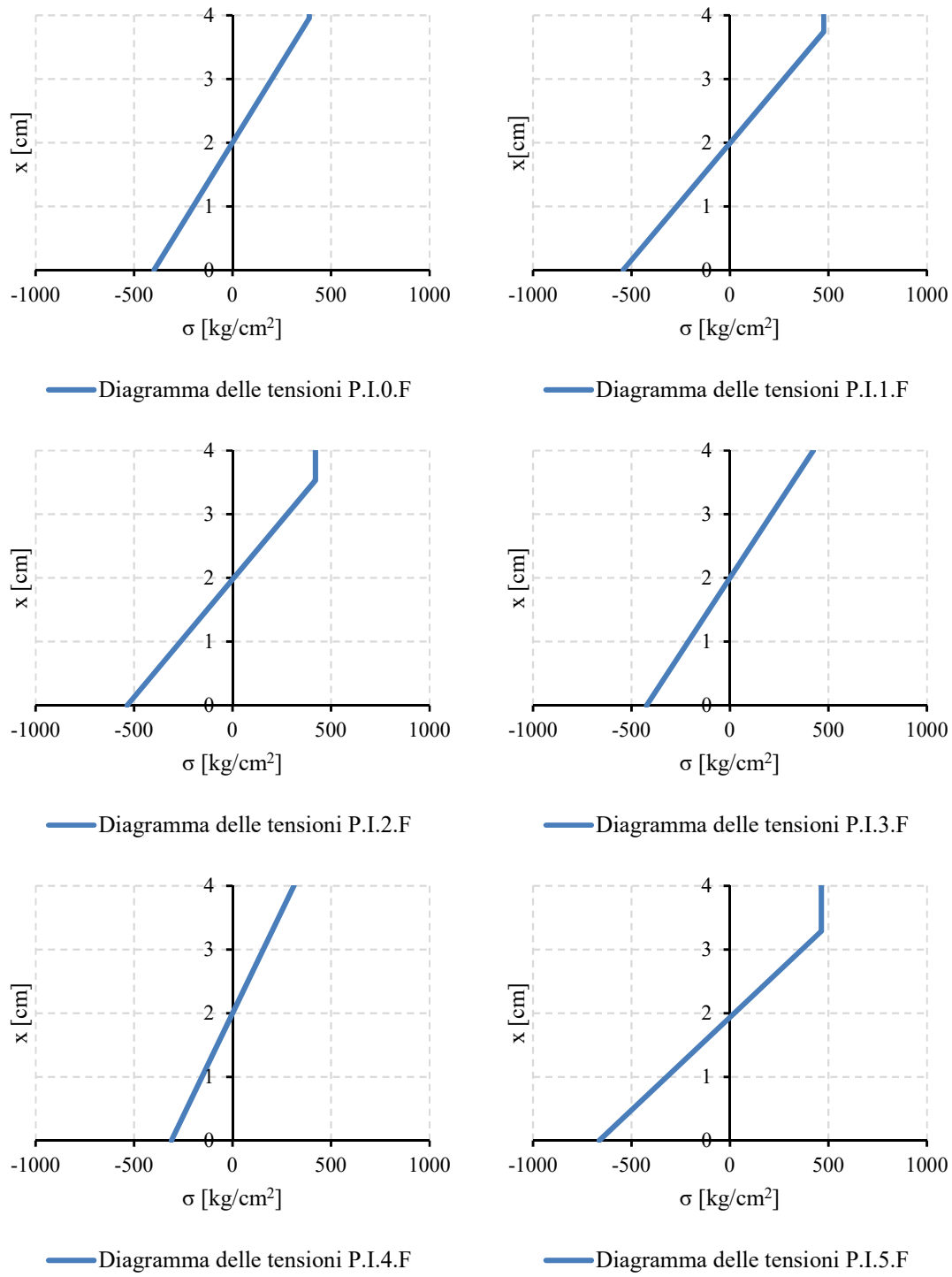
$$\chi_u = \frac{\epsilon_y}{b} = \frac{M}{EI} \quad (6.89)$$

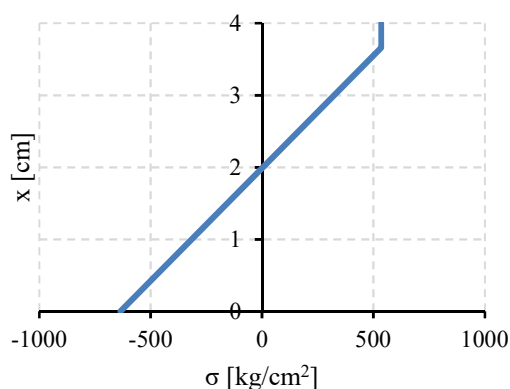
$$\mu = \frac{\chi_u}{\chi_y} \quad (6.90)$$

Provino	$\sigma_{c,max}$ [kg/cm ²]	σ_{fless} [kg/cm ²]	σ_{traz} [kg/cm ²]	M_{max} [kgcm]	M_y [kgcm]	μ [-]
P.I.0.F	388,74	398,7	398,7	23924,8	23322	1,03
P.I.1.F	476,26	544,8	542,5	32686,6	28575,6	1,14
P.I.2.F	420,58	541,8	535,8	32510,1	25234,8	1,29
P.I.3.F	469,89	423,4	469,9	25406,6	28193,4	0,90
P.I.4.F	408,2	310,9	408,2	18652,3	24492	0,76
P.I.5.F	463,94	685,7	664,0	41139,6	27836,4	1,48
P.I.6.F	534,62	639,1	635,0	38348,6	32077,2	1,20
P.I.7.F	506,01	844,3	798,0	45029,6	26987,2	1,67
P.I.8.F	489,30	696,1	679,8	37124,5	26096	1,42

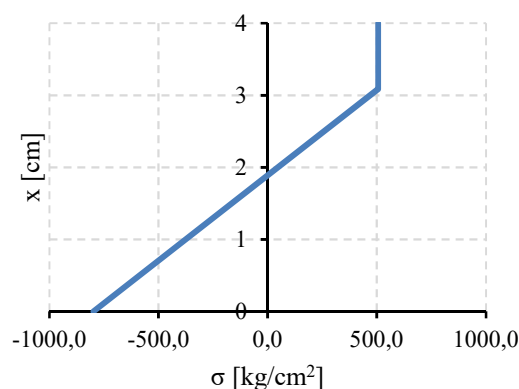
Tab. 6.3 Scheda riepilogativa dei risultati

Come riportato in tabella (Tab.6.3), i provini P.I.3.F e P.I.4.F hanno presentato una rottura elasto-fragile in trazione prima del raggiungimento della tensione massima a compressione al lembo superiore. Si riportano di seguito (Fig. 6.21) i diagrammi delle tensioni di ogni singola tavola.

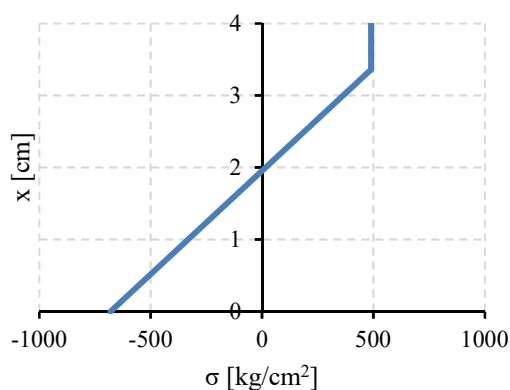




— Diagramma delle tensioni P.I.6.F



— Diagramma delle tensioni P.I.7.F



— Diagramma delle tensioni P.I.8.F

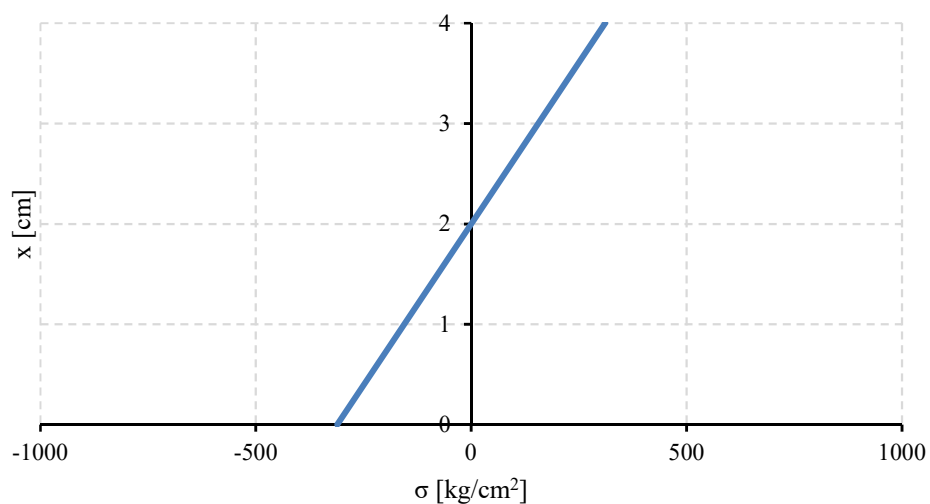
Fig. 6.21 Diagramma delle tensioni (reale)

La duttilità di una tavola viene intesa come la capacità di deformarsi oltre il limite elastico prima di giungere a rottura. Il legno presenta un comportamento duttile in compressione e elasto-fragile in trazione. Ovviamente la presenza di difetti può comportare la rottura fragile in trazione prima del raggiungimento del suo limite massimo a compressione.

I risultati ottenuti hanno permesso quindi, di valutare come influiscono i nodi e i difetti della tavola sui valori della duttilità. I nodi rappresentano un punto di debolezza della tavola, in quanto provocano sia una riduzione della sezione resistente sia una deviazione della fibratura; quest'ultima induce l'insorgere di tensioni ortogonali alle fibre e quindi zone localmente meno resistenti.

Si è ritenuto opportuno riportare i tre casi più significativi che hanno diversificato la duttilità delle tavole e quindi, anche la qualità della stessa:

- *duttilità nulla*



— Diagramma delle tensioni P.I.4.F

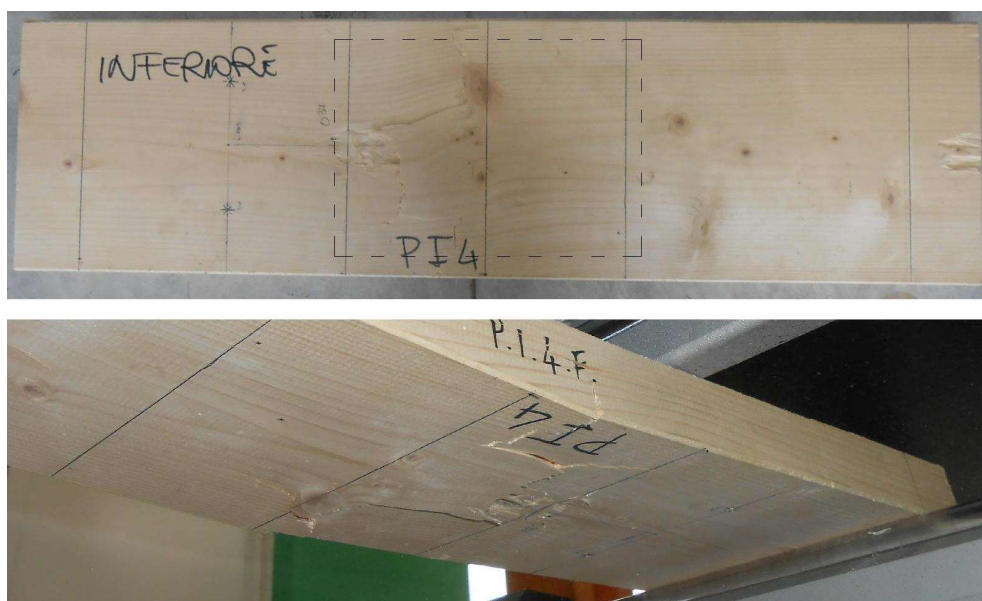
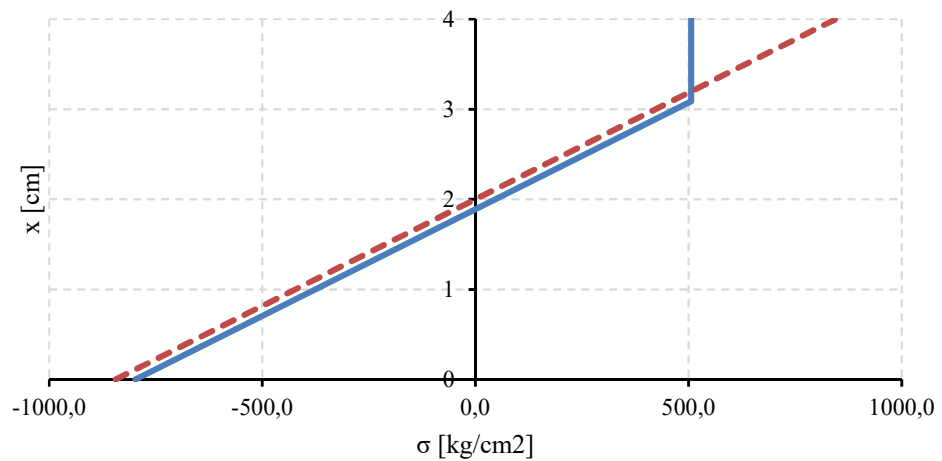


Fig. 6.22 Tavola con duttilità nulla

Il provino P.I.4.F. ha presentato, nella zona di momento massimo, un nodo di grandi dimensioni con conseguenziale deviazione della fibratura. La scarsa qualità della tavola ha favorito una rottura elasto-fragile a trazione prima del raggiungimento del suo limite massimo in compressione causando quindi una duttilità nulla.

- *duttilità elevata*



- Diagramma delle tensioni reale (P.I.7.F)
- - - Diagramma delle tensioni fittizio alla Navier (provino P.I.7.F)

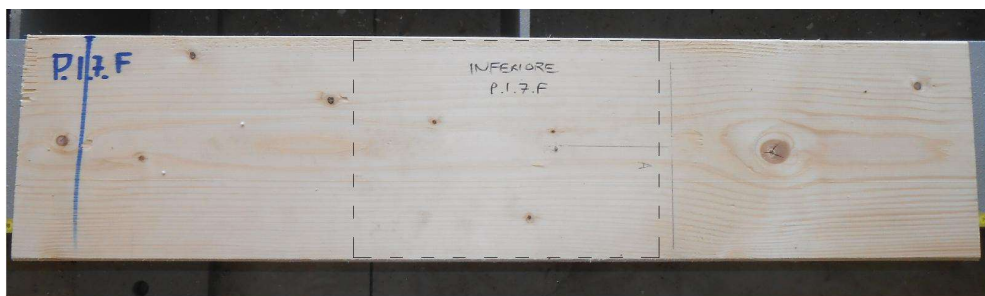


Fig. 6.23 Tavola con duttilità elevata

La tavola P.I.7.F ha presentato una rottura fragile a trazione presentando un elevata duttilità in compressione. La presenza nella zona di momento massimo di minimi difetti e di una fibratura regolare ha consentito al provino di deformarsi molto in campo plastico prima di giungere a rottura.

- *duttilità bassa*

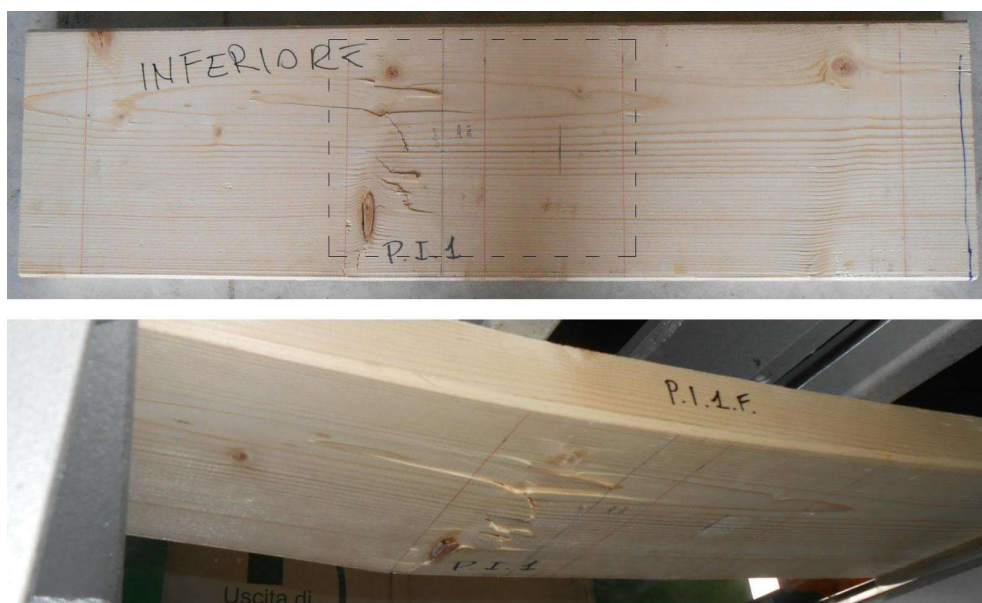
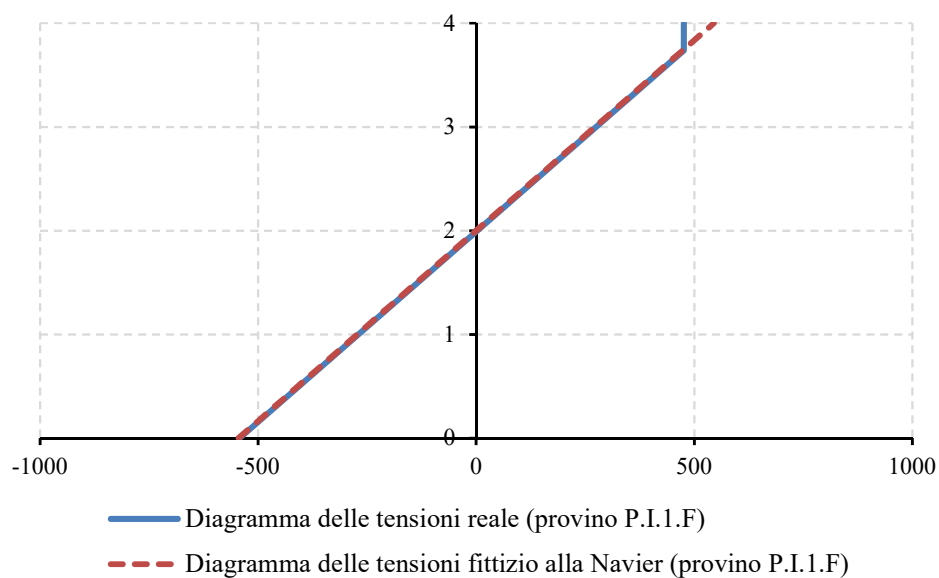


Fig. 6.24 Tavola con duttilità bassa

La tavola P.I.1.F è caratterizzata da un nodo allungato in corrispondenza del coltello di carico. Esso ha causato un punto di debolezza della sezione ma non ha inciso in maniera netta sulla fibratura del legno, conservandola quindi pressoché regolare. Il provino pertanto ha manifestato una rottura fragile in trazione dopo una breve deformazione plastica.

Viene inoltre riportata, la distribuzione dei valori delle σ ottenuti dalle prove sperimentali (da P.I.0.F a P.I.8.F) mediante una distribuzione normale o Gaussiana (Fig. 6.25).

Due parametri molto importanti per esaminare un insieme di valori casuali sono il *valore medio* μ e lo *scarto quadratico medio* (o *deviazione standard*) σ . Essi sono definiti rispettivamente da :

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (6.91)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2} \quad (6.92)$$

In merito alle tensioni σ :

Media	Deviazione standard
$\mu = 565,1 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma = 159,5 \text{ kg/cm}^2$

La funzione di densità di probabilità ha un caratteristico aspetto a campana ed è definita in maniera completa se si conoscono σ e μ e mediante l'equazione:

$$p(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (6.93)$$

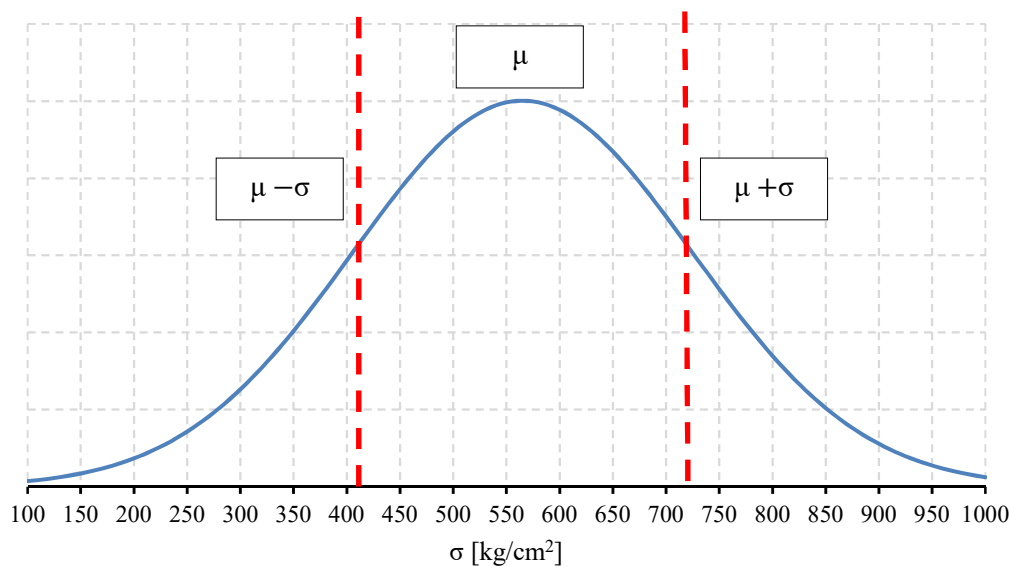


Fig. 6.25 Distribuzione gaussiana delle σ

6.2.2 Prove di compressione su legno netto

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa delle dimensioni dei provini (Tab. 6.4), i diagrammi forza spostamento e tensione deformazione inerenti il sotto-gruppo **C1**.

Sotto-gruppo	Provino	Lunghezza [mm]	Base [mm]	Spessore [mm]
C1	C1	40	18	21
	C2	40	21	20
	P.I.0.F C3	40	20	21
	C4	40	21	20
	C5	40	21	20
	C6	40	21	17
	C7	40	21	18
	P.I.1.F C8	40	18	18
	C9	40	21	16
	C10	40	18	18
	C11	40	20	21
	C12	40	20	20
	P.I.2.F C13	40	20	20
	C14	40	21	21
	C15	40	21	21
	C16	40	20	19
	C17	40	20	19
	P.I.3.F C18	40	19	20
	C19	40	20	19
	C20	40	20	19

Tab. 6.4 Scheda riepilogativa dei provini del sotto-gruppo C1

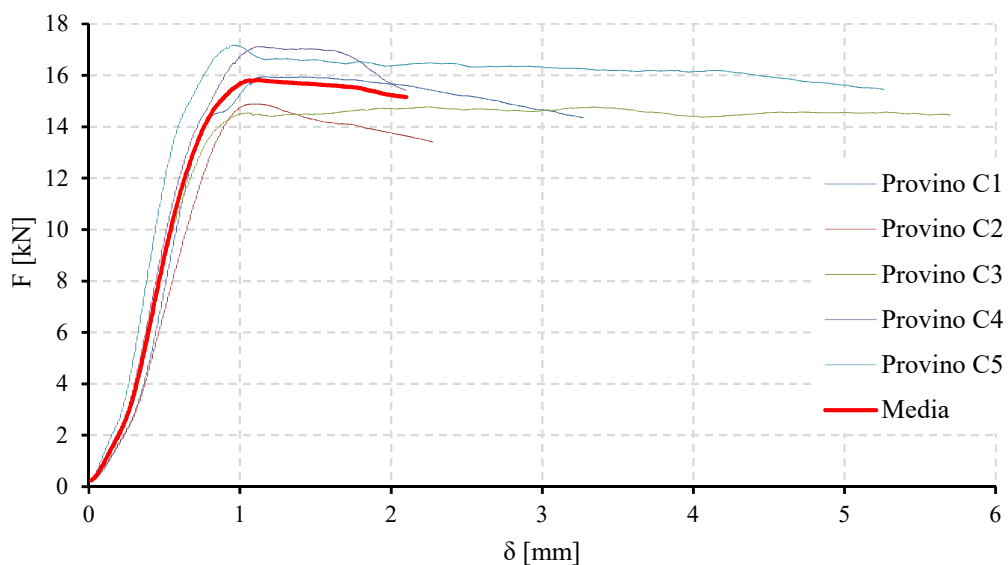


Fig. 6.26 Diagramma riepilogativo F - δ (gruppo provini P.I.0.F)

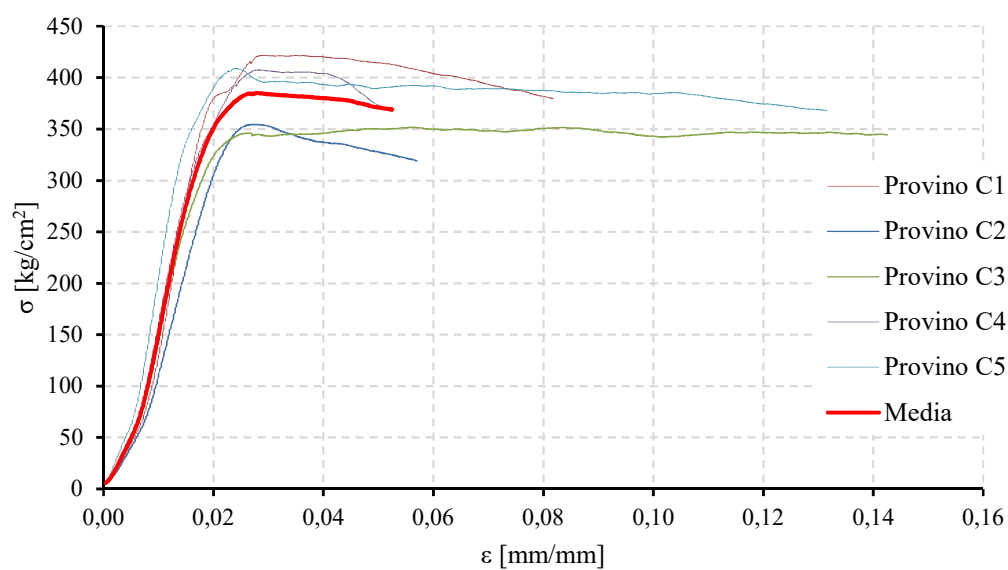


Fig. 6.27 Diagramma riepilogativo σ - ε (gruppo provini P.I.0.F)

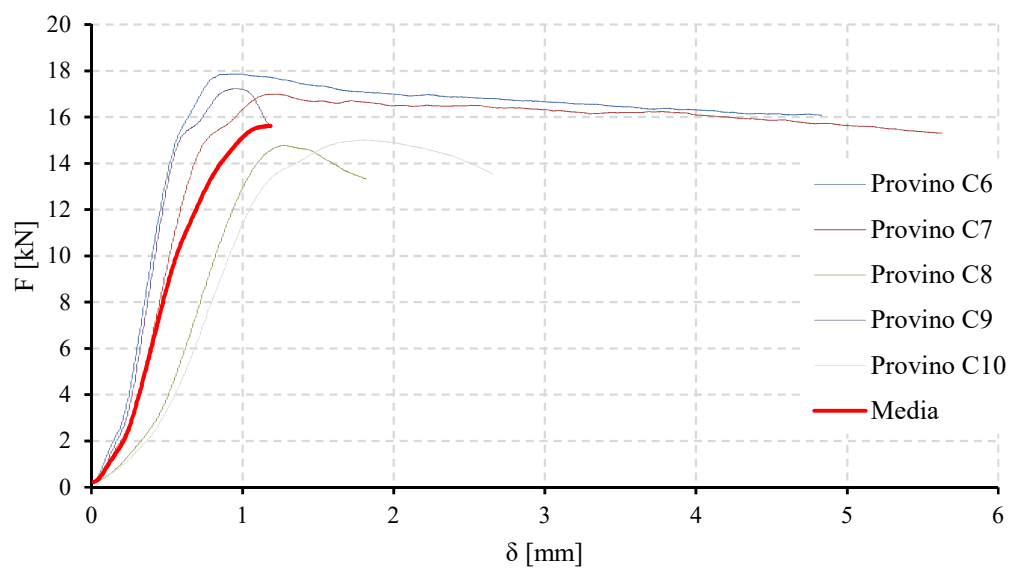


Fig. 6.28 Diagramma riepilogativo F - δ (gruppo provini P.I.1.F)

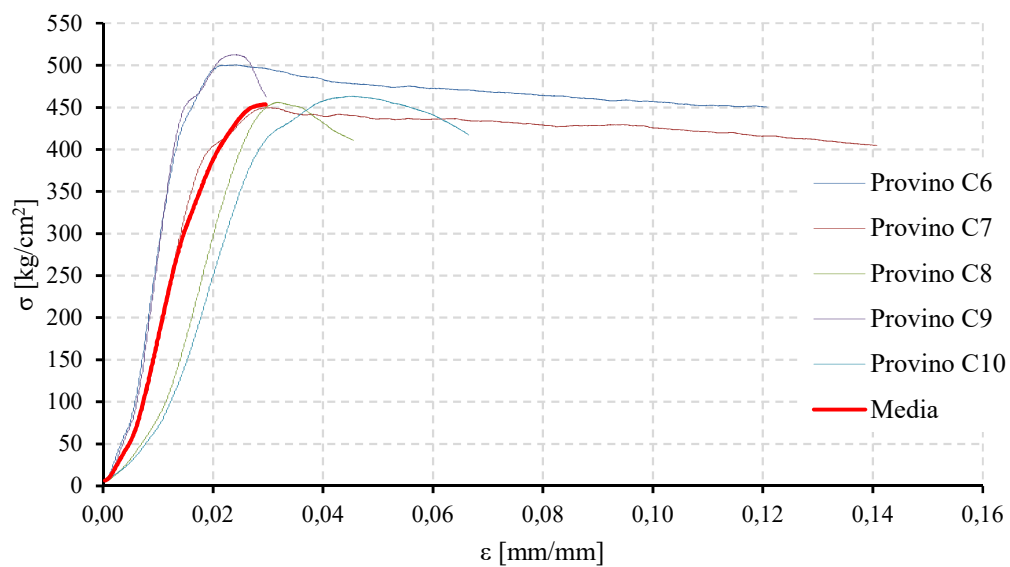


Fig. 6.29 Diagramma riepilogativo σ - ε (gruppo provini P.I.1.F)

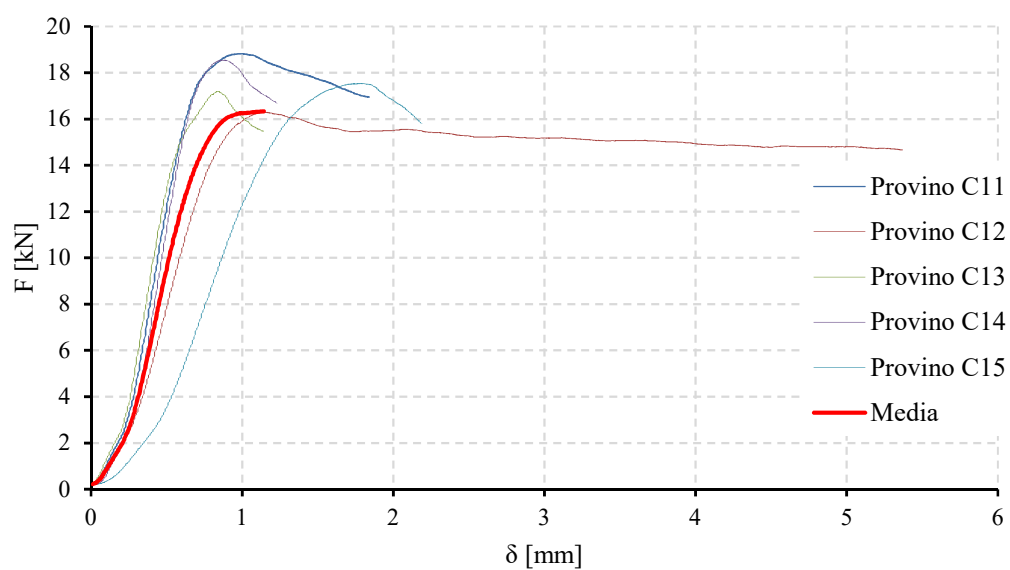


Fig. 6.30 Diagramma riepilogativo F - δ (gruppo provini P.I.2.F)

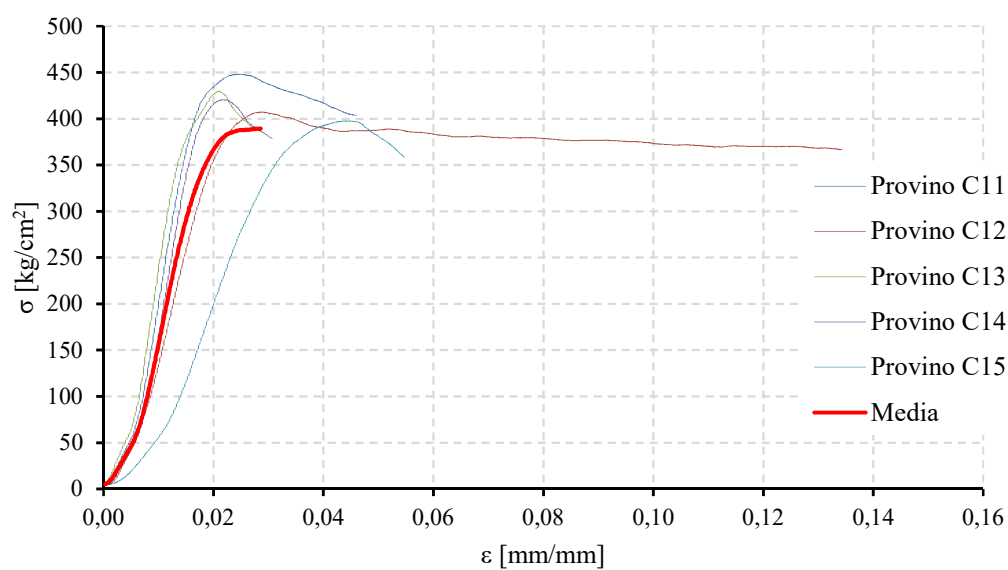


Fig. 6.31 Diagramma riepilogativo σ - ε (gruppo provini P.I.2.F)

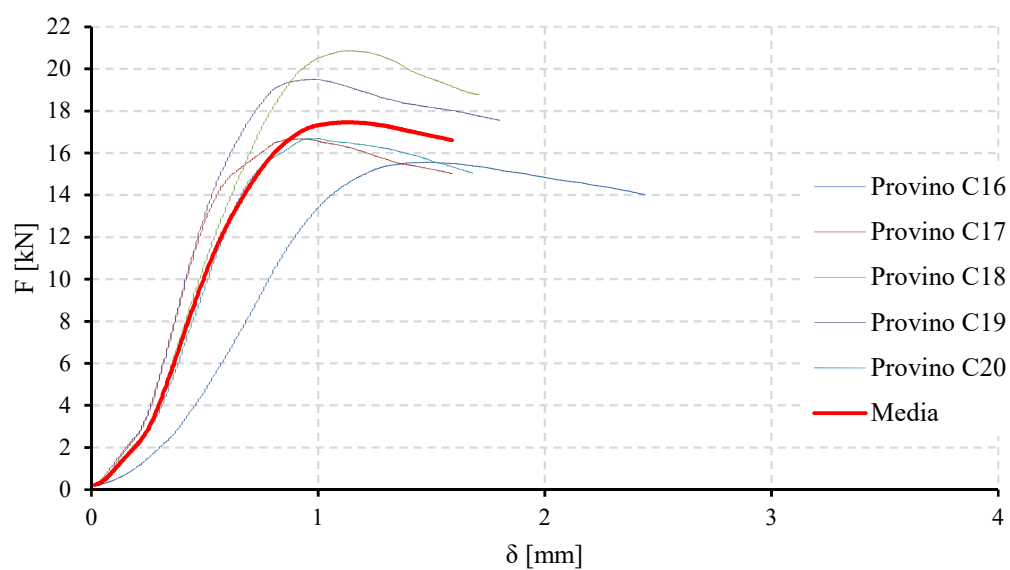


Fig. 6.32 Diagramma riepilogativo F - δ (gruppo provini P.I.3.F)

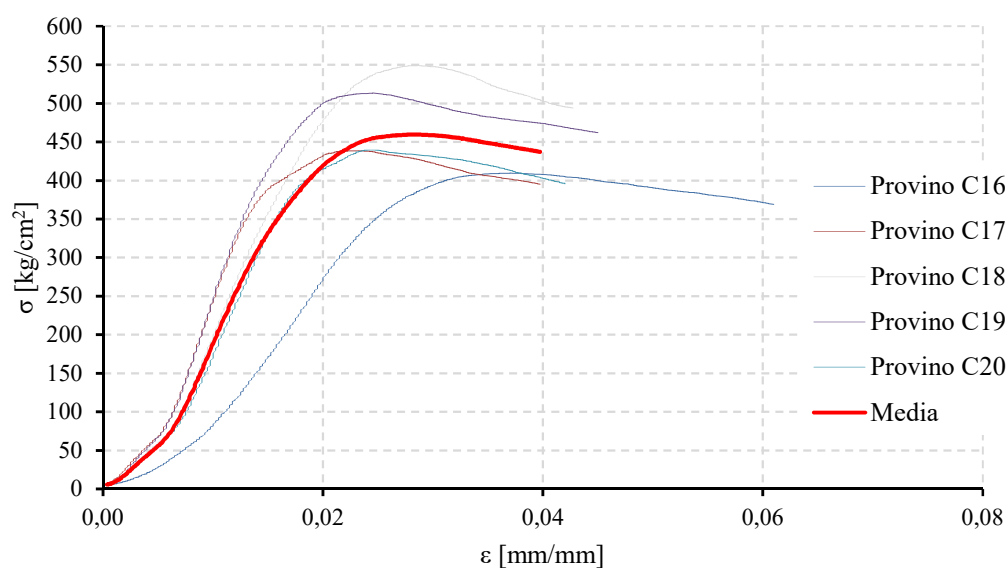
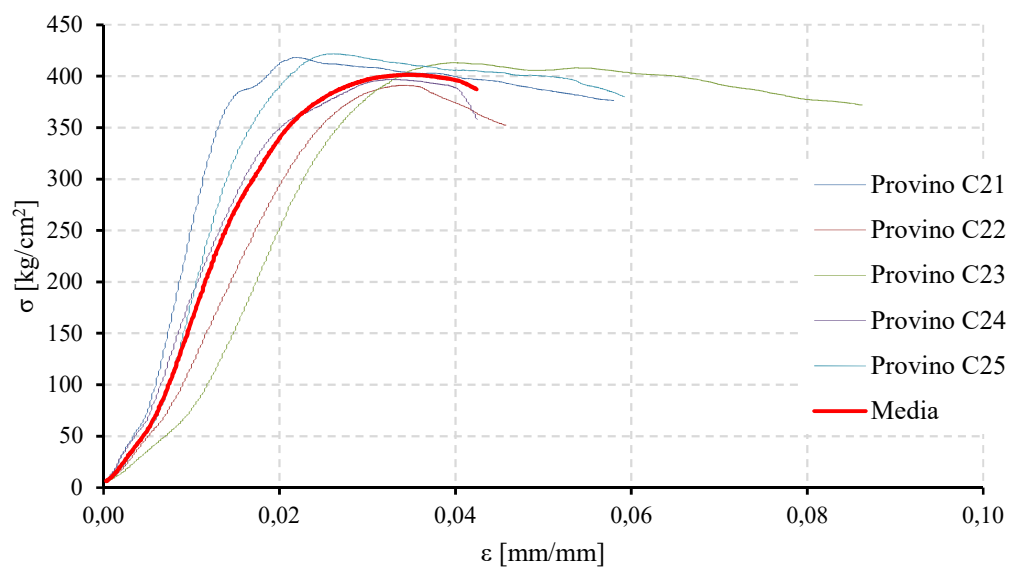
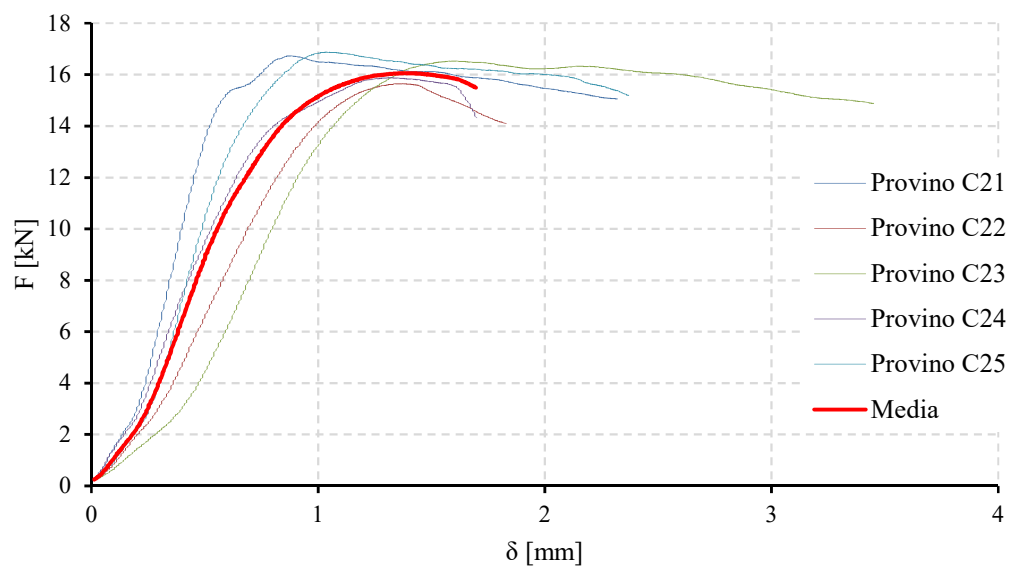


Fig. 6.33 Diagramma riepilogativo σ - ϵ (gruppo provini P.I.3.F)

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa delle dimensioni dei provini (Tab. 6.5), i diagrammi forza spostamento e tensione deformazione inerenti il sotto-gruppo **C2**.

Sotto-gruppo	Provino	Lunghezza [mm]	Base [mm]	Spessore [mm]
C2	P.I.4.F	C21	40	20
		C22	40	20
		C23	40	20
		C24	40	20
		C25	40	20
	P.I.5.F	C26	40	22
		C27	40	21
		C28	40	22
		C29	40	20
		C30	40	21
	P.I.6.F	C31	40	20
		C32	40	19
		C33	40	19
		C34	40	19
		C35	40	19

Tab. 6.5 Scheda riepilogativa dei provini del sotto-gruppo C2



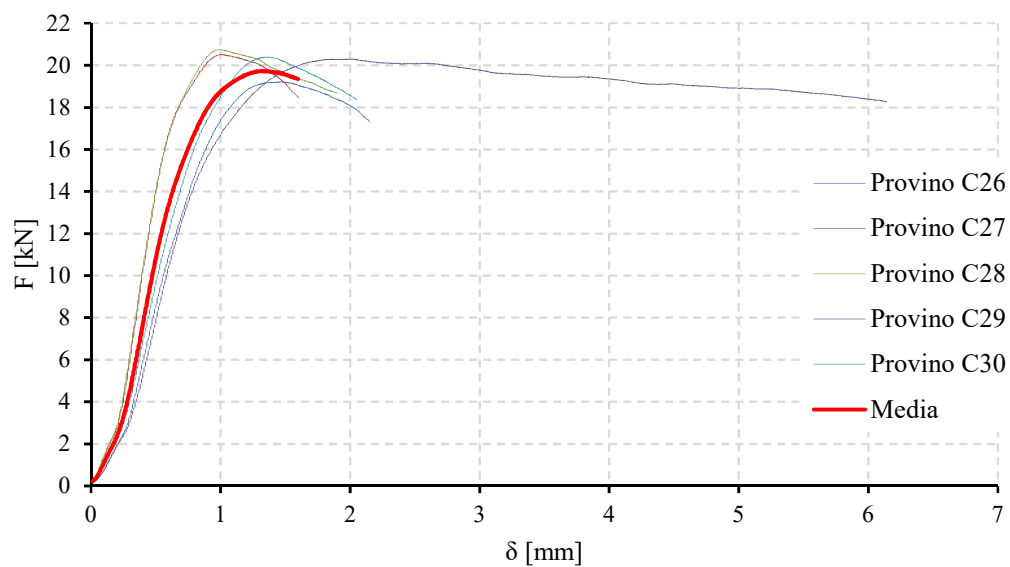


Fig. 6.36 Diagramma riepilogativo F - δ (gruppo provini P.I.5.F)

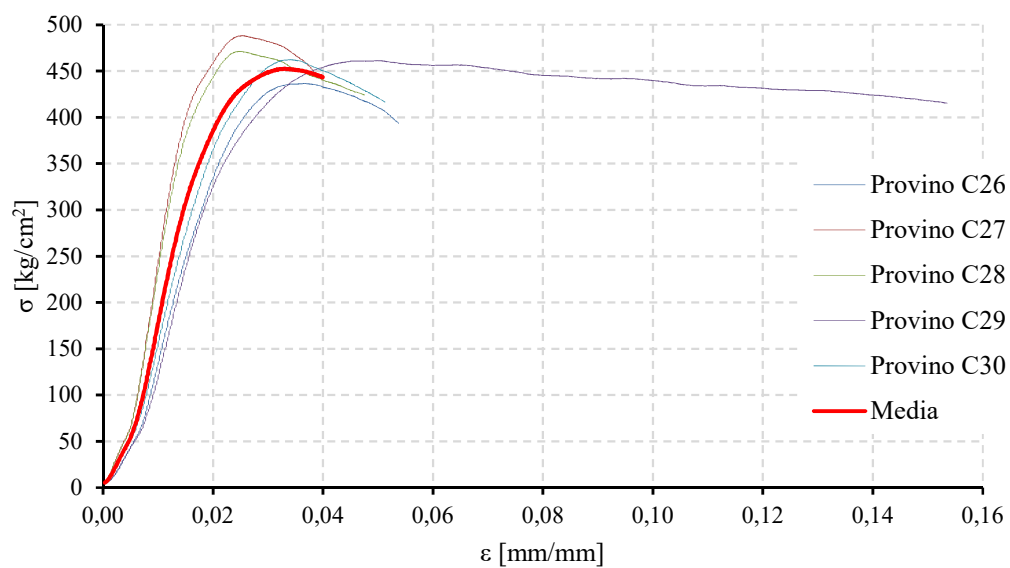


Fig. 6.37 Diagramma riepilogativo σ - ε (gruppo provini P.I.5.F)

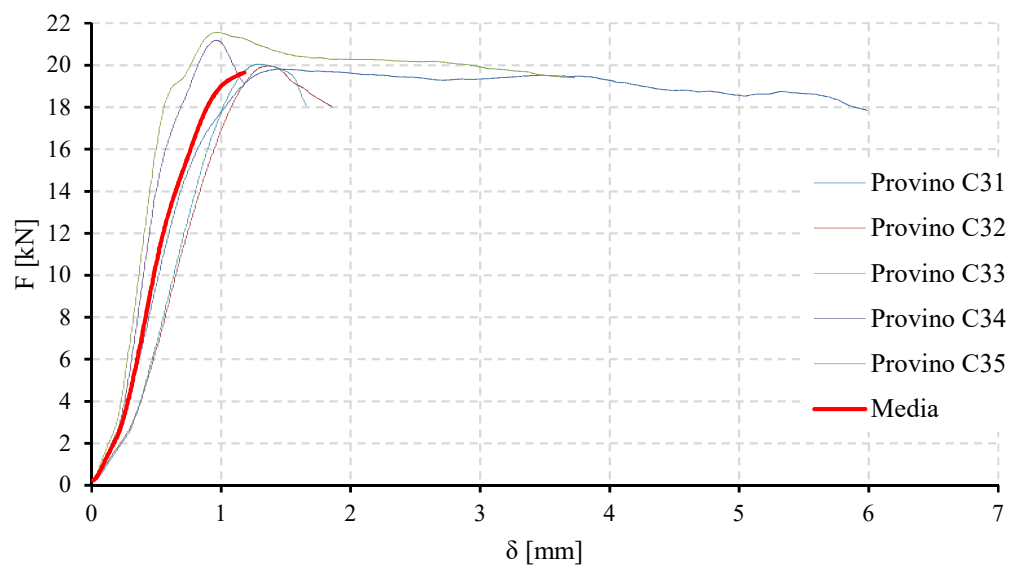


Fig. 6.38 Diagramma riepilogativo F- δ (gruppo provini P.I.6.F)

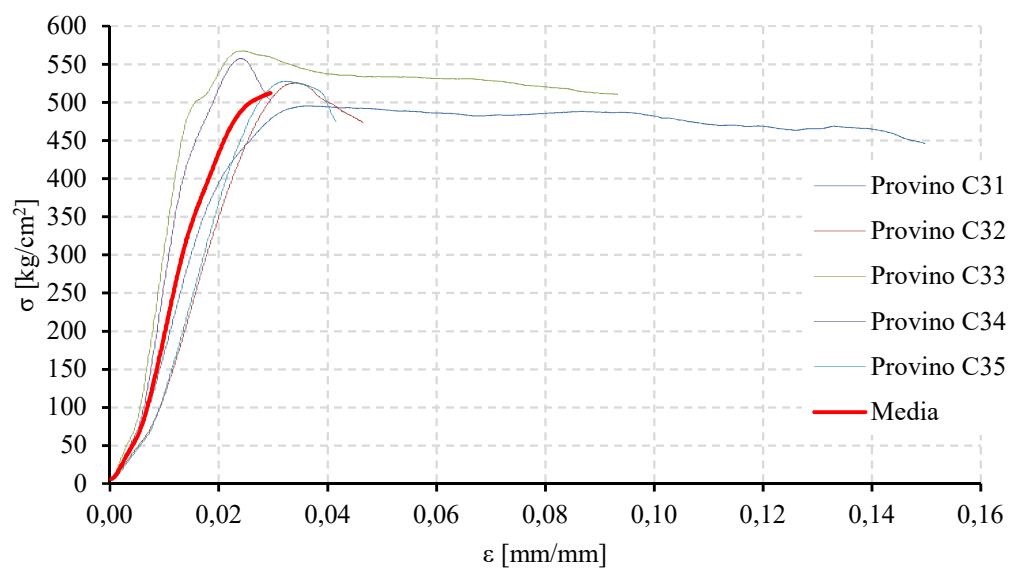


Fig. 6.39 Diagramma riepilogativo σ - ϵ (gruppo provini P.I.6.F)

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa delle dimensioni dei provini (Tab. 6.6), i diagrammi forza spostamento e tensione deformazione inerenti il sotto-gruppo C3.

Sotto-gruppo	Provino	Lunghezza [mm]	Base [mm]	Spessore [mm]
C3	P.I.7.F	C36	40	19
		C37	40	19
		C38	40	20
		C39	40	19
		C40	40	19

Tab. 6.6 Scheda riepilogativa dei provini del sotto-gruppo C3

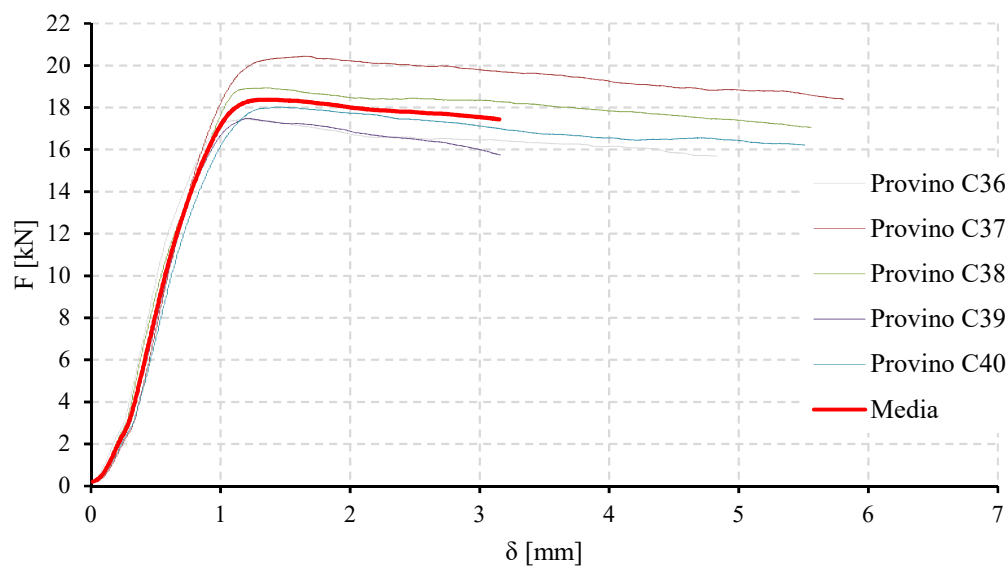


Fig. 6.40 Diagramma riepilogativo F- δ (gruppo provini P.I.7.F)

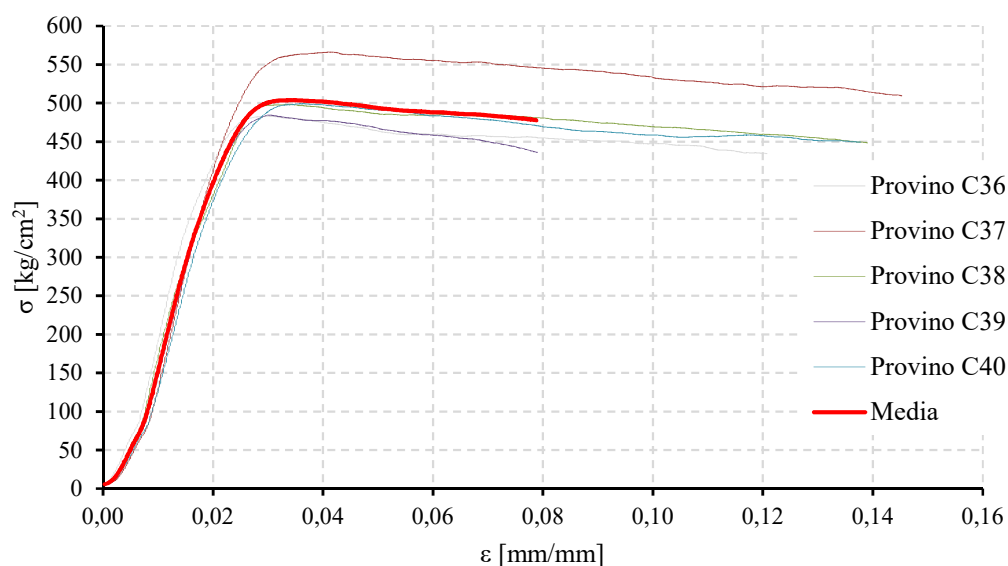


Fig. 6.41 Diagramma riepilogativo σ - ϵ (gruppo provini P.I.7.F)

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa delle dimensioni dei provini (Tab. 6.11), i diagrammi forza spostamento e tensione deformazione inerenti il sotto-gruppo **C4**.

Sotto-gruppo		Provino	Lunghezza [mm]	Base [mm]	Spessore [mm]
C4	P.I.8.F	C41	40	19	19
		C42	40	19	19
		C43	40	20	20
		C44	40	19	20
		C45	40	19	19

Tab. 6.7 Scheda riepilogativa dei provini del sotto-gruppo C4

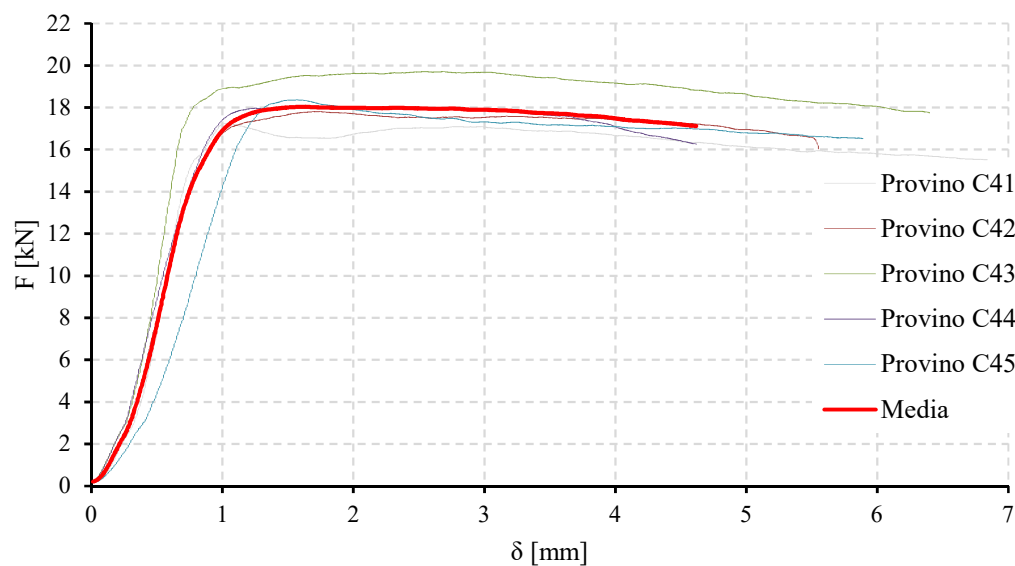


Fig. 6.42 Diagramma riepilogativo F- δ (gruppo provini P.I.8.F)

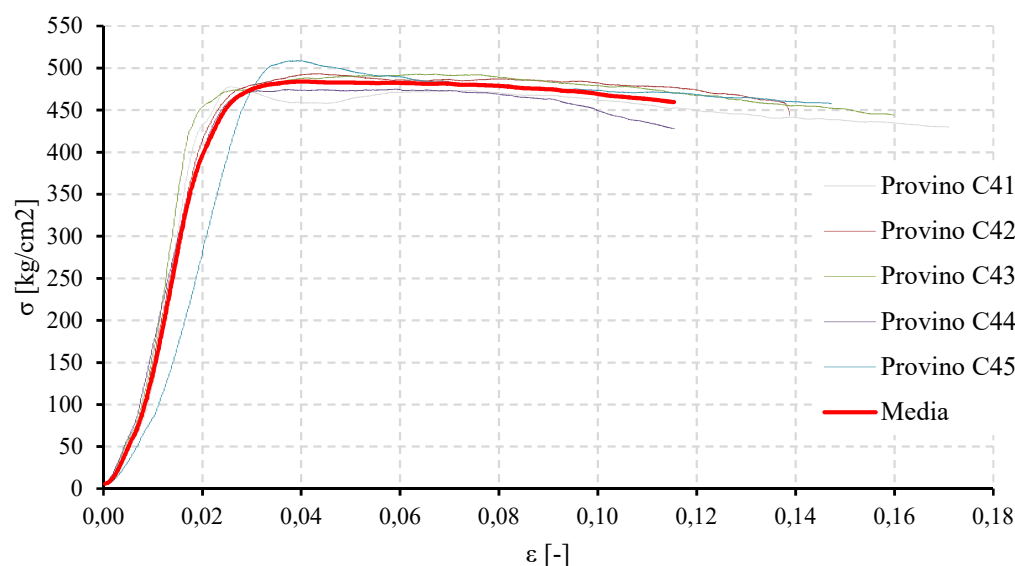


Fig. 6.43 Diagramma riepilogativo σ - ϵ (gruppo provini P.I.8.F)

La tensione massima σ , è stata determinata facendo il rapporto tra la forza agente e la superficie di legno netto su cui essa agisce (Fig. 6.44), ovvero:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (6.94)$$

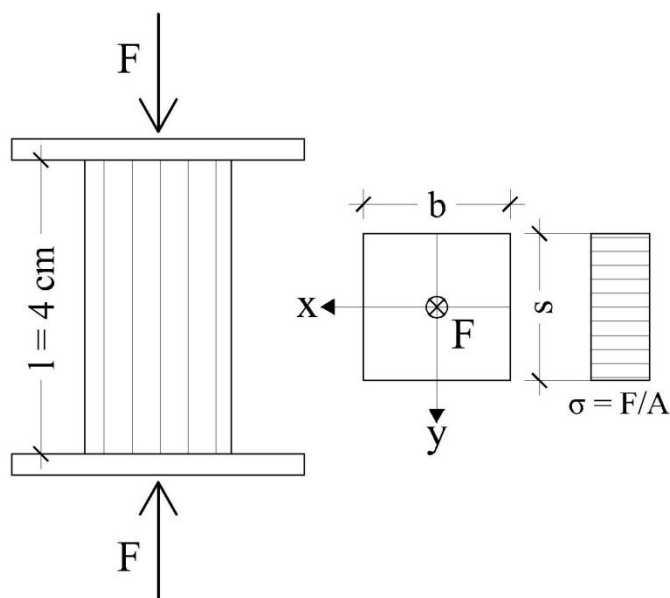


Fig. 6.44 Sforzo normale centrato

In Tabella 6.8 viene riportato un quadro riassuntivo dei risultati ottenuti per tutti i provini testati. In essa F e σ_c indicano la forza massima e la corrispondente tensione; con A_{trasv} espressa in cm^2 si indica l'area trasversale della sezione considerata.

Sotto-gruppo	Provino	F [kN]	A _{trav} [cm ²]	σ _c [kg/cm ²]	σ _{c,med} [kg/cm ²]
C1	P.I.0.F	C1	15,95	3,8	421,6
		C2	14,89	4,2	354,5
		C3	14,77	4,2	351,5
		C4	17,11	4,2	407,4
		C5	17,17	4,2	408,8
	P.I.1.F	C6	17,86	3,6	500,2
		C7	16,99	3,8	449,5
		C8	14,78	3,2	456,0
		C9	17,22	3,4	512,5
		C10	15,01	3,2	463,2
	P.I.2.F	C11	18,82	4,2	448,0
		C12	16,29	4,0	407,2
		C13	17,19	4,0	429,7
		C14	18,54	4,4	420,3
		C15	17,54	4,4	397,7
	P.I.3.F	C16	15,57	3,8	409,6
		C17	16,67	3,8	438,6
		C18	20,86	3,8	548,9
		C19	19,51	3,8	513,3
		C20	16,70	3,8	439,4
C2	P.I.4.F	C21	16,73	4,0	418,2
		C22	15,65	4,0	391,1
		C23	16,53	4,0	413,2
		C24	15,88	4,0	396,9
		C25	16,87	4,0	421,7
	P.I.5.F	C26	19,21	4,4	436,6
		C27	20,51	4,2	488,3
		C28	20,74	4,4	471,3
		C29	20,30	4,4	461,3
		C30	20,39	4,2	462,3
	P.I.6.F	C31	19,82	4,0	495,4
		C32	19,97	3,8	525,4
		C33	21,56	3,8	567,4
		C34	21,18	3,8	557,4
		C35	20,05	3,8	527,6
C3	P.I.7.F	C36	17,43	3,6	482,8
		C37	20,43	3,6	566,0
		C38	18,93	3,8	498,2
		C39	17,49	3,6	484,5
		C40	18,02	3,6	499,2
C4	P.I.8.F	C41	17,24	3,6	477,6
		C42	17,80	3,6	493,2
		C43	19,71	4,0	492,7
		C44	18,05	3,8	474,9
		C45	18,36	3,6	508,6
Media	/	/	/	/	462,0

Tab. 6.8 Scheda riepilogativa dei risultati

Viene riportata inoltre, la distribuzione dei valori delle tensioni ottenuti dalle prove sperimentali (da C1 a C45) mediante un istogramma (Fig. 6.45) e una distribuzione normale o Gaussiana (Fig. 6.46).

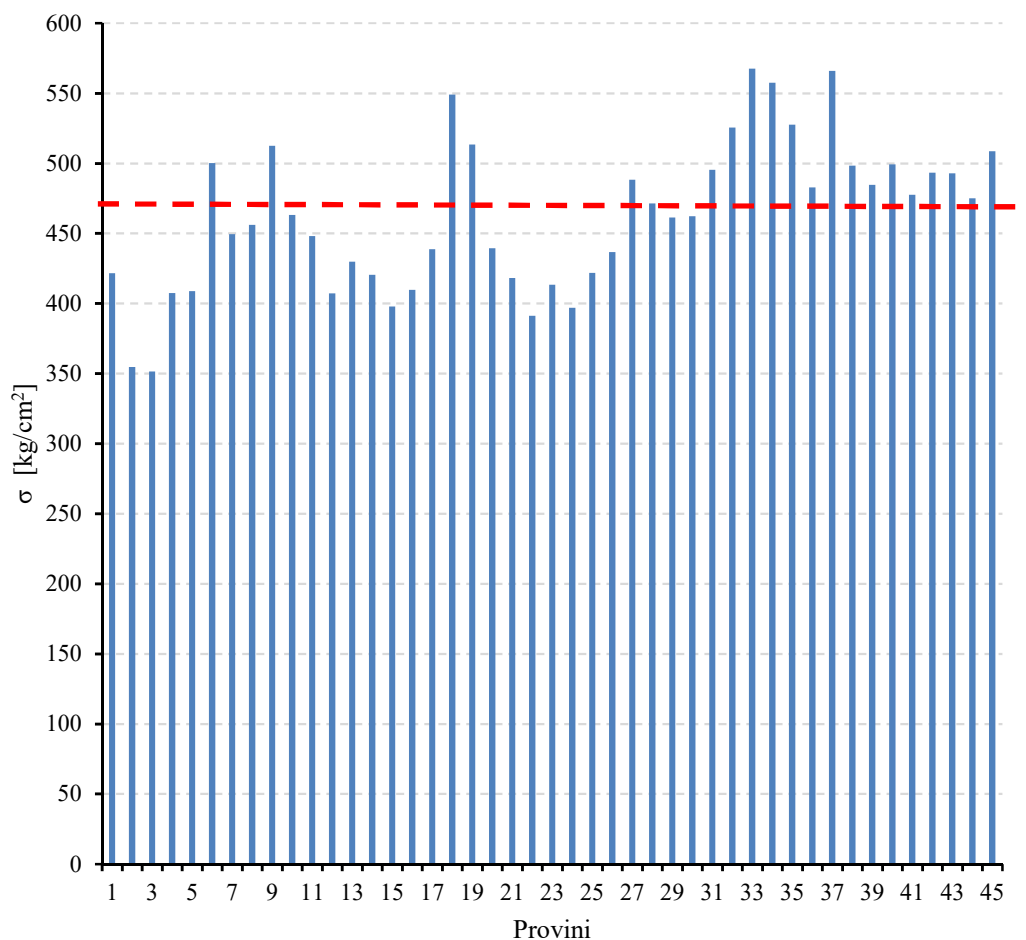


Fig. 6.45 Istogramma delle tensioni massime

Due parametri molto importanti per esaminare un insieme di valori casuali sono il *valore medio* μ e lo *scarto quadratico medio* (o *deviazione standard*) σ . Essi sono definiti rispettivamente da :

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (6.95)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2} \quad (6.96)$$

In questo caso valgono rispettivamente:

Media	Deviazione standard
$\mu = 462,0 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma = 59,7 \text{ kg/cm}^2$

La funzione di densità di probabilità ha un caratteristico aspetto a campana ed è definita in maniera completa se si conoscono σ e μ e mediante l'equazione:

$$p(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x-\mu}{2\sigma}\right)^2} \quad (6.97)$$

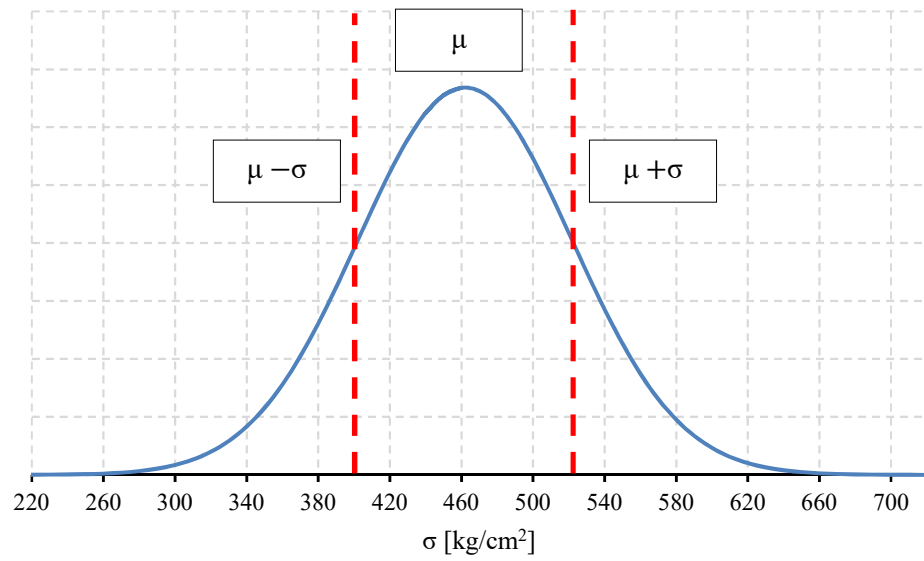


Fig. 6.46 Distribuzione gaussiana delle tensioni massime

6.2.3 Il comportamento meccanico dell'eps

In merito all'analisi sperimentale svolta sul provino di eps e sui pannelli *Porepan* sottoposti a sforzo di taglio indiretto, in questo paragrafo si riportano brevi relazioni, diagrammi riepilogativi ed elaborazioni numeriche su base teorica della campagna di prove effettuata.

I risultati delle prove effettuate hanno permesso di valutare in maniera piuttosto accurata il comportamento meccanico dell'eps.

Dalla prova a compressione sul provino di eps si è potuto ricavare la tensione al limite elastica, quella massima e il modulo elastico. Nella Tabella 6.9 vengono riportati i valori di tensione ed il modulo elastico dell'eps. Dal grafico di Figura 6.47 si evidenzia un comportamento non lineare dell'eps. In particolare si assiste ad un primo tratto "elastico" fino ad una tensione di circa 1 kg/cm² a cui corrisponde una deformazione dell'1%. Successivamente invece si assiste ad un leggero incrudimento dovuto alla "costipazione" dell'eps.

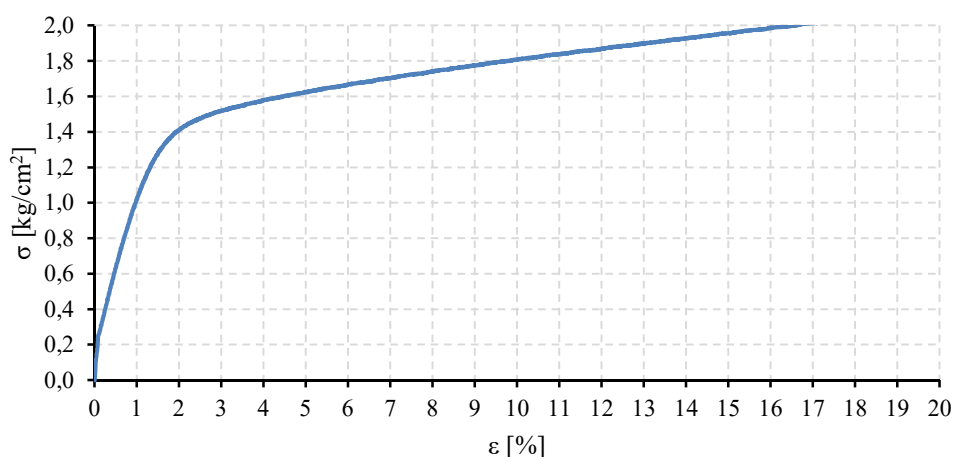


Fig. 6.47 Diagramma σ - ε (provino di eps)

Tensione elastica	Tensione massima	Modulo elastico
$\sigma_{\text{ela}} = 1 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_{\text{max}} = 1,4 \text{ kg/cm}^2$	$E = 100 \text{ kg/cm}^2$
$\varepsilon_{[\sigma_{\text{ela}}]} = 1\%$	$\varepsilon_{[\sigma_{\text{max}}]} = 2\%$	

Tab. 6.9 Valori di tensione e modulo elastico eps

Dalle prove a taglio indiretto sui pannelli *Porepan* si è potuto determinare il comportamento meccanico a taglio dell'eps. Di seguito si riporta una tabella riepilogativa contenente le caratteristiche geometriche dei provini testati a taglio (Tab. 6.10), la configurazione di prova adottata (Fig. 6.48), i diagrammi riepilogativi forza-spostamento per i due sotto-gruppi (Fig. 6.49 e 6.50) e le schede riepilogative dei risultati ottenuti dalle prove sperimentali (Tab. 6.11 e 6.12).

Sotto-gruppo	Provino	Lunghezza [cm]	Larghezza [cm]	Spessore [cm]
D1	T1	40	26,5	18,5
	T2	40	26,5	18,5
	T3	40	26,5	18,5

D2	T4	40	26,5	18,5
	T5	40	26,5	18,5
	T6	40	26,5	18,5

Tab. 6.10 Caratteristiche geometriche dei provini testati a taglio

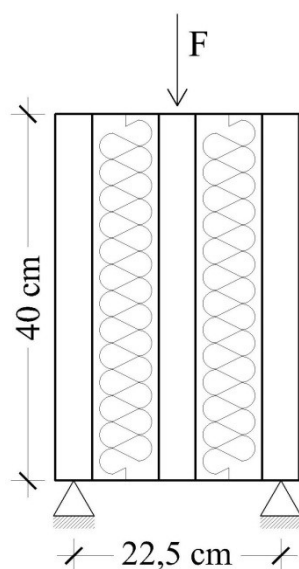


Fig. 6.48 Configurazione di prova (prove a taglio indiretto)

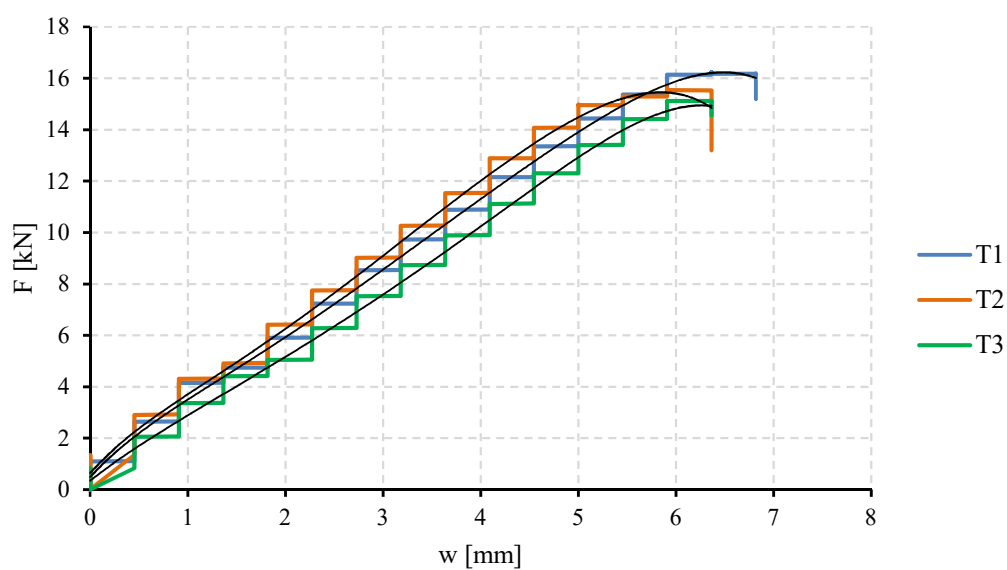


Fig. 6.49 Diagramma riepilogativo forza-spostamento del sotto-gruppo **D1**

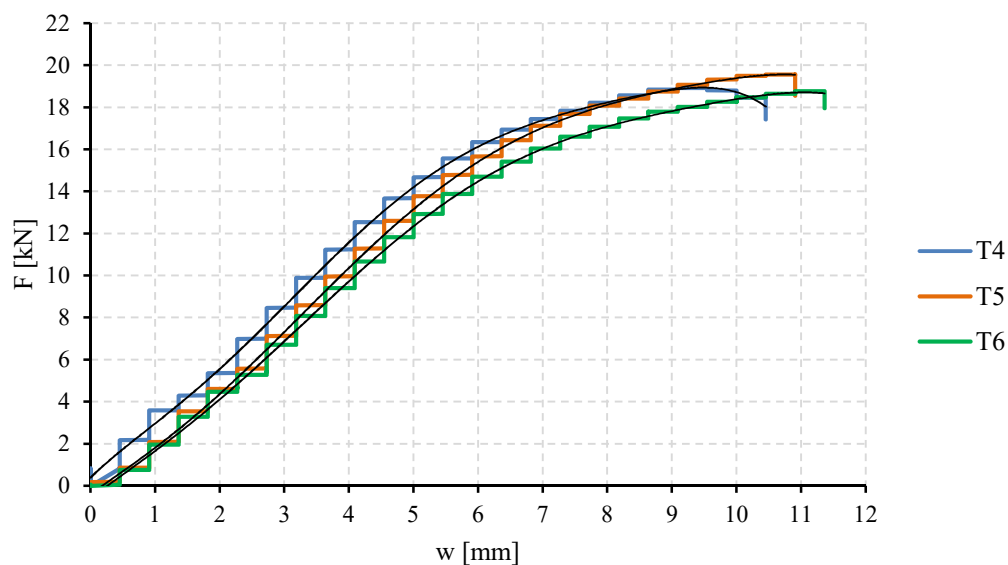


Fig. 6.50 Diagramma riepilogativo forza-spostamento del sotto-gruppo **D2**

Sotto-gruppo	Provino	F_{\max} [kg]	Condizione	Tipologia di rottura
D1	T1	1624	Ultima	Trazione ortogonale per flessione dell'eps
	T2	1563	Ultima	Trazione ortogonale per flessione dell'eps
	T3	1513	Ultima	Trazione ortogonale per flessione dell'eps
	/	1567	Media	/

Tab. 6.11 Scheda riepilogativa dei risultati del sottogruppo D1

Sotto-gruppo	Provino	F_{\max} [kg]	Condizione	Tipologia di rottura
D2	T4	1894	Ultima	Taglio
	T5	1957	Ultima	Taglio
	T6	1876	Ultima	Taglio
	/	1909	Media	/

Tab. 6.12 Scheda riepilogativa dei risultati del sottogruppo D2

I provini del sotto-gruppo **D1** hanno manifestato un comportamento diverso da quello atteso, infatti hanno presentato una rottura prematura dell'eps a trazione dovuta alla presenza di tensioni di trazione da flessione al lembo inferiore. Essi, hanno presentato una deformata flessionale con una rotazione relativa tra le tavole di legno (Fig. 6.51).

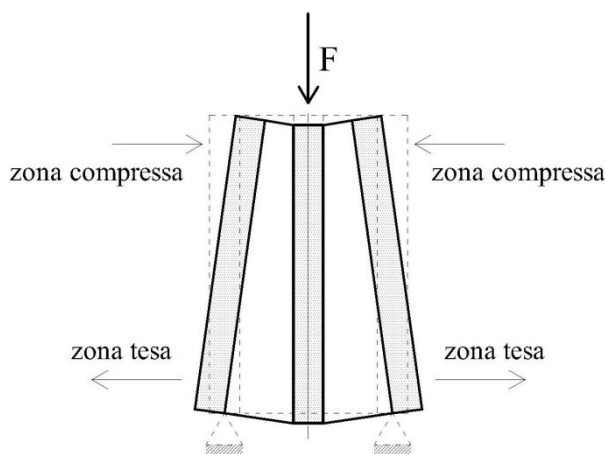


Fig. 6.51 Deformata del provino per effetto del carico

Dai diagrammi del sotto-gruppo **D1** si è ottenuta la forza media F_{med} , da cui si è ricavato il momento nella sezione “s” (sezione di interfaccia eps-legno). Come è noto dalla scienza delle costruzioni, il momento massimo per una trave appoggiata-appoggiata con forza concentrata, è nella mezzzeria della trave (Fig. 6.52).

Nel caso in esame si è considerato il momento alla sezione di interfaccia eps-legno poiché è risultato proprio il momento che ha prodotto la fessurazione dell'eps e dunque la rottura del provino. Dunque una volta noto il momento M_s (momento di prima fessurazione dell'eps) è stato possibile ricavare, nelle ipotesi già descritte nel Capitolo 6 (Teoria di De Saint Venant), la tensione massima a trazione da flessione al lembo inferiore come il rapporto tra il momento M_s e il modulo di resistenza W_{el} , ovvero:

$$\sigma_{fless} = \frac{M_s}{W_{el}} \quad (6.98)$$

$$M_s = 783,3 \times 9,25 = 7245,5 \text{ kgcm} \quad (6.99)$$

$$W_{el} = \frac{18,5 \times 40^2}{6} = 4933,3 \text{ cm}^3 \quad (6.100)$$

$$\sigma_{fless} = \frac{M_s}{W_{el}} = \frac{7245,5}{4933,3} = 1,46 \text{ kg/cm}^2 \quad (6.101)$$

Come si può notare la tensione massima da flessione è circa uguale a quella di compressione.

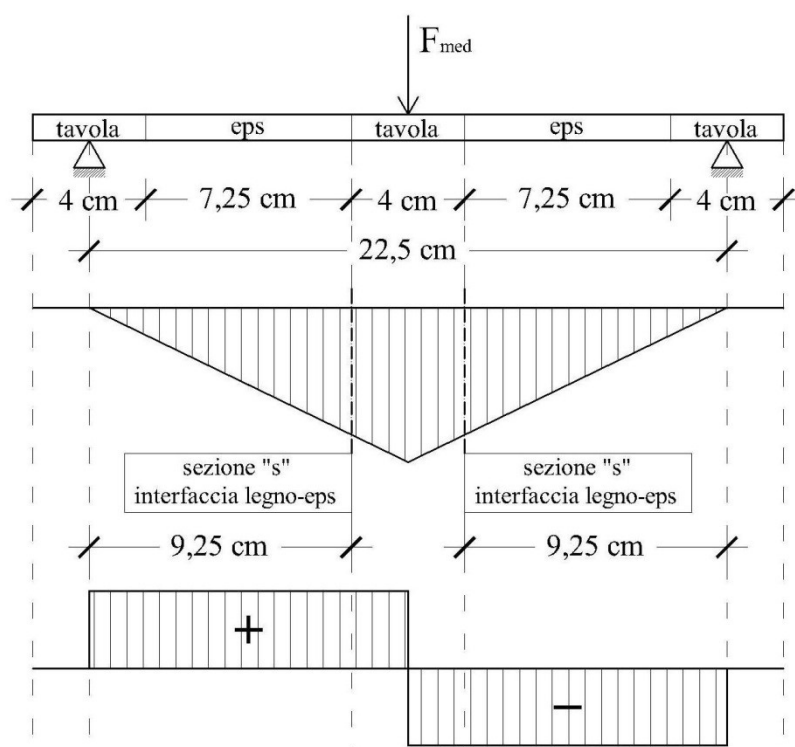


Fig. 6.52 Calcolo della tensione di trazione all'interfaccia legno-eps

Per i provini del secondo gruppo, per evitare la tipologia di rottura a trazione dell'eps per effetto della tensione ricavata precedentemente, si è inserito un morsetto nella parte inferiore. In questo modo si è indotta la rottura a taglio per scorrimento tra la tavola centrale e l'eps (Fig. 6.53).

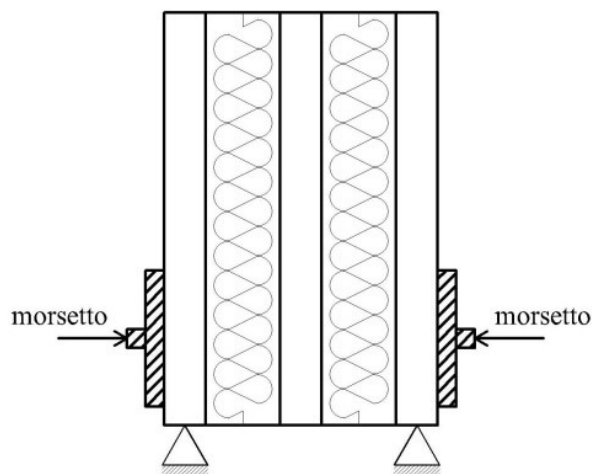


Fig. 6.53 Morsetto per favorire lo scorrimento

Nell'inserimento del morsetto, nella parte inferiore non si è applicato nessuna forza di precarico (ma solo una leggerissima forza per tenere in asse il morsetto). In seguito all'applicazione del carico, il provino ha presentato una deformata tipica tagliante. La deformata si presenta grossomodo simmetrica rispetto all'asse di carico (Fig. 6.54).

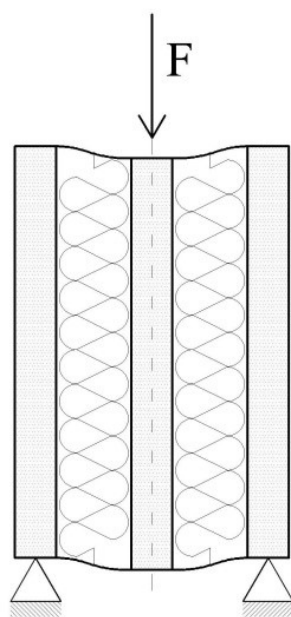


Fig. 6.54 Comportamento a taglio del provino

Dalle curve sperimentali ottenute, sono state effettuate delle elaborazioni numeriche con ipotesi teoriche (Fig. 6.55). Le ipotesi valutate sono le seguenti:

- le tavole in legno si considerano infinitamente rigide rispetto all'eps;
- le tensioni tangenziali si considerano costanti sulla sezione trasversale del provino;
- le tensioni normali nella sezione trasversale si trascurano;
- la deformata a taglio dell'eps si considera lineare nelle ipotesi di piccoli spostamenti.

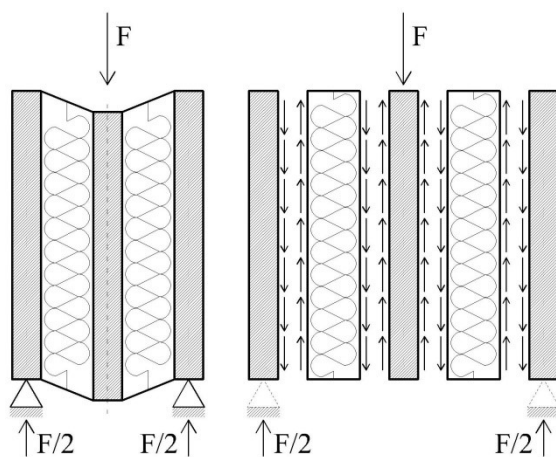


Fig. 6.55 Ipotesi teoriche (tensioni tangenziali costanti)

Sulla base di queste ipotesi, in tutti i punti dello strato di eps si generano stati tensionali puramente tangenziali con direzioni principali di trazione e di compressione inclinate a 45° . In questa condizione il provino è sollecitato da una condizione di taglio puro, infatti le fessure si sono propagate con un'inclinazione di 45° (Fig. 6.56).

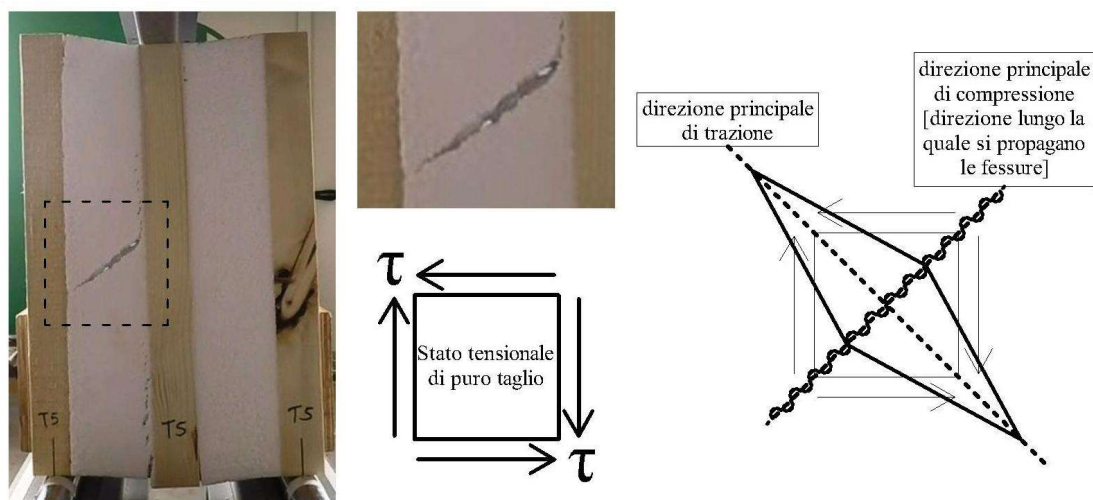


Fig. 6.56 Condizione di taglio puro

Dalle curve ottenute dai diversi provini si è costruita una curva media a parità di spostamento, da cui si è ricavato un diagramma $\tau - \gamma$ dove:

- la tensione τ è stata calcolata come il rapporto tra la forza F , la sezione trasversale reagente di eps e il numero di sezioni di taglio:

$$\tau = \frac{F}{2(s \times L)} = \frac{1909}{2(18,5 \times 40)} = 1,29 \text{ kg/cm}^2 \quad (6.102)$$

- la distorsione γ è stata calcolata come rapporto tra lo spostamento δ e lo spessore dello strato di eps s_{eps} :

$$\gamma = \frac{\delta}{s_{\text{eps}}} \quad (6.103)$$

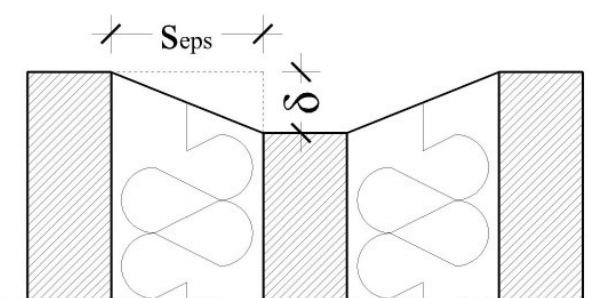


Fig. 6.57 Spostamento δ e spessore dello strato di eps

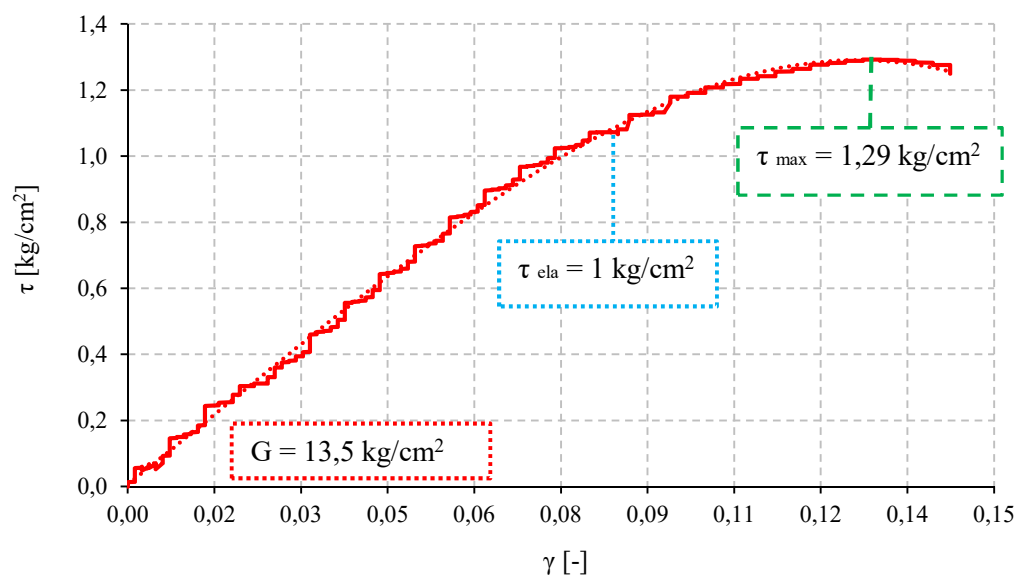


Fig. 6.58 Diagramma $\tau - \gamma$

Infine, a seguito delle prove effettuate, si sono potute determinare le caratteristiche meccaniche dell'eps riportate nella tabella seguente:

Compressione		Flessione		Taglio	
[kg/cm ²]		[kg/cm ²]		[kg/cm ²]	
σ_{elastica}	1	σ_{fless}	1,46	τ_{elastica}	1
E	100	/	/	G	13,5
σ_{max}	1,4	/	/	τ_{max}	1,3

Tab. 6.13 Riepilogo dei valori di resistenza a compressione e a taglio dell'eps

6.3 Il solaio come elemento di partizione orizzontali

I solai sono strutture piane aventi la funzione di portare i carichi presenti sulle costruzioni e di trasferirli alle strutture su cui si appoggiano. Da un punto di vista geometrico sono caratterizzati da una “luce” (L) pari alla massima distanza tra due appoggi consecutivi, da una “campata” definita come la porzione di solaio compresa tra due appoggi, da un’“orditura” che rappresenta la direzione della struttura portante del solaio. In un solaio possono essere individuate più orditure perché molteplici possono essere le sue strutture portanti. A seconda del livello di importanza della struttura che sostiene i carichi gravanti sul solaio, le orditure vengono suddivise, in base al loro ordine di posizionamento, in principali (o primarie), secondarie, terziarie e così via. Le orditure di ordine superiore poggiano su quelle di ordine immediatamente inferiore. Le orditure secondarie poggiano sulle principali che, dunque, sono responsabili del sostenimento di tutto il solaio.

Le tipologie di solaio prese in considerazione in questa trattazione sono:

- solai in legno *X-LAM*;
- solai in legno *Porepan*;
- solai in *latero-cemento*.

Dopo l’avvento dell’ormai conosciuto legno lamellare, da diversi anni, si stanno sviluppando altri esempi capace di evidenziare come il settore del legno possa dare al mondo della costruzione, della progettazione, del calcolo, nuove risposte e nuovi stimoli, ovvero:

- *X-LAM*;
- *Porepan*.

I solai *X-LAM* sono costituiti da pannelli strutturali in legno composti da strati di tavole sovrapposti a fibratura incrociata (Fig. 6.59). I pannelli vengono realizzati per essere impiegati come elementi portanti degli edifici con struttura in legno.



Fig. 6.59 Solaio con pannelli X-LAM

I solai *Porepan* sono costituiti da pannelli strutturali in legno con interposto isolante termico in polistirene espanso monostrato “eps”. Gli strati di legno con interposto eps costituiscono un prodotto altamente isolante che grazie alla sua particolare versatilità lo rendono idoneo sia negli interventi di ristrutturazione che nelle nuove costruzioni (Fig. 6.60). I solai *Porepan* sono costituiti da tanti pannelli

accoppiati uniti tramite delle viti che collegano i collegamenti lignei. La soletta superiore è realizzata da un calcestruzzo alleggerito, armato con una maglia elettrosaldata. Essa è resa collaborante attraverso l'impiego di connettori metallici. Per motivi tecnologici al di sotto della soletta è inserita una barriera al vapore.

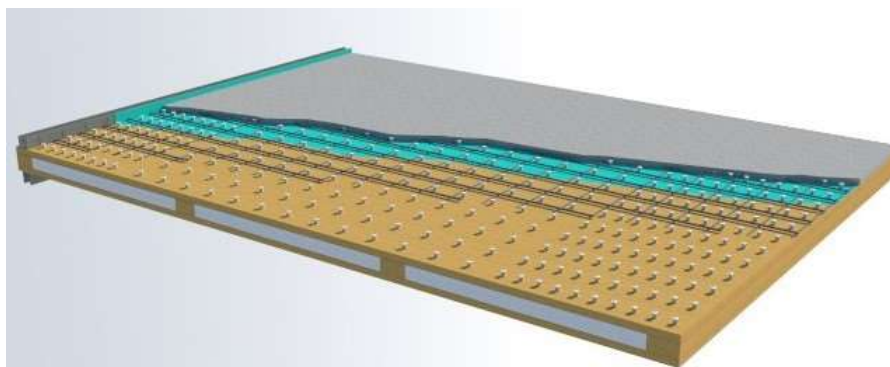


Fig. 6.60 Solaio con pannelli Porepan

I solai latero-cemento costituiscono la maggioranza dei solai realizzati in Italia. L'industria del cemento armato ha visto la produzione di numerose tipologie di questo elemento strutturale. La tipologia più comune è quella dei solai gettati in opera. Tali sono realizzati poggiando su tavole in legno i laterizi (pignatte) poste ad un interasse tale da consentire la realizzazione dei travetti mediante il posizionamento delle barre di armatura ed il successivo getto di calcestruzzo. Le tavole provvisorie vengono smontate al raggiungimento della maturazione del calcestruzzo (in genere 28 giorni dal getto) (Fig. 6.61).

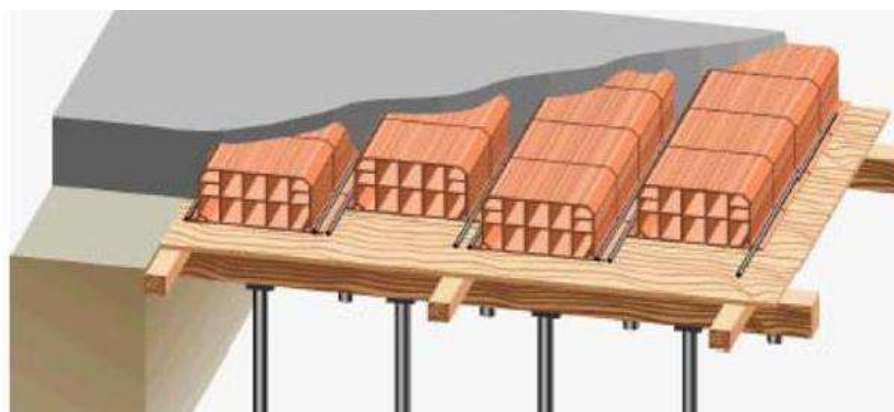


Fig. 6.61 Solaio latero-cemento gettato in opera

6.6.1. Analisi dei carichi

In questa fase si è effettuata l'analisi dei carichi unitari per le diverse tipologie di solai precedentemente descritte:

- *Solaio Porepan*

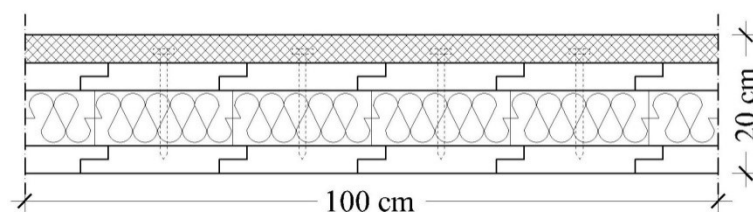


Fig. 6.62 Sezione trasversale di un metro di solaio Porepan

Carichi permanenti strutturali G_1					
Elemento	n°	Base [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kg/m³]	Totale [kg/m²]
Soletta in cls alleggerito con connettori $\phi 10$	/	1,00	0,04	1650	66,00
Tavola	2	1,00	0,04	350	28,00
Eps	/	1,00	0,08	30	2,40
					96,40

Carichi permanenti non strutturali G_2					
Elemento	n°	Base [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kg/m³]	Totale [kg/m²]
Pavimento	/				50,00
Massetto	/	1,00	0,03	200	60,00
Controsoffitto	/				10,00
Incidenza tramezzi	/				100,00
					220,00

Il peso totale di un metro di solaio *Porepan* dato dalla somma $G_1 + G_2$ è pari a 316,40 kg/m².

Il carico variabile q_k per un ambiente ad uso residenziale (categoria A) è pari a 200,00 kg/m².

Le combinazioni di carico allo SLU e allo SLE in condizione frequente si ottengono considerando i seguenti coefficienti:

$$q_{\text{SLU,NTC08}} = 1,3 \times G_1 + 1,3 \times G_2 + 1,5 \times Q_k = 7,41 \text{ kN/m}^2 = 741,30 \text{ kg/m}^2 \quad (6.104)$$

$$q_{\text{SLE,NTC08,freq}} = G_1 + G_2 + 0,5 \times Q_k = 4,16 \text{ kN/m}^2 = 416,40 \text{ kg/m}^2 \quad (6.105)$$

- *Solaio X- LAM*

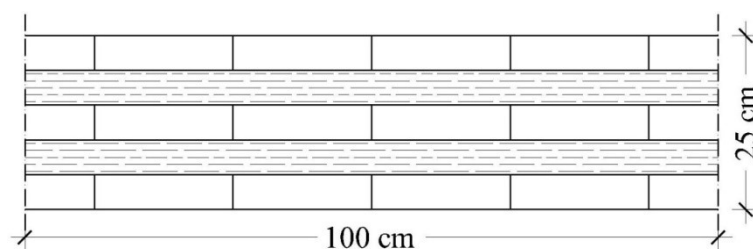


Fig. 6.63 Sezione trasversale di un metro di solaio X-LAM

Carichi permanenti strutturali G_1

Elemento	n°	Base [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kg/m³]	Totale [kg/m²]
Tavola	5	1,00	0,05	350	87,50
					87,50

Carichi permanenti non strutturali G_2

Elemento	n°	Base [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kg/m³]	Totale [kg/m²]
Pavimento	/				50,00
Massetto	/	1,00	0,03	200	60,00
Controsoffitto	/				10,00
Incidenza tramezzi	/				100,00
					220,00

Il peso totale di un metro di solaio *X-LAM* dato dalla somma $G_1 + G_2$ è pari a 307,50 kg/m².

Il carico variabile q_k per un ambiente ad uso residenziale (categoria A) è pari a 200,00 kg/m².

Le combinazioni di carico allo SLU e allo SLE in condizione frequente si ottengono considerando i seguenti coefficienti:

$$q_{\text{SLU,NTC08}} = 1,3 \times G_1 + 1,3 \times G_2 + 1,5 \times Q_k = 7,00 \text{ kN/m}^2 = 700,00 \text{ kg/m}^2 \quad (6.106)$$

$$q_{\text{SLE,NTC08,freq}} = G_1 + G_2 + 0,5 \times Q_k = 4,07 \text{ kN/m}^2 = 407,50 \text{ kg/m}^2 \quad (6.107)$$

- *Solaio latero – cemento*

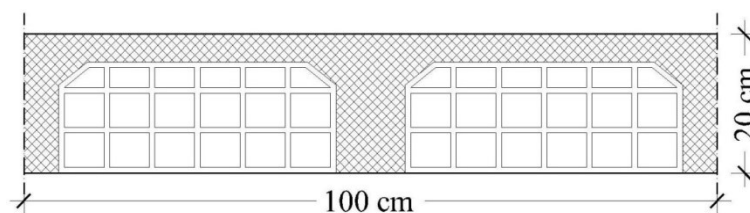


Fig. 6.64 Sezione trasversale di un metro di solaio latero-cemento

Carichi permanenti strutturali G_1

Elemento	n°	Base [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kg/m³]	Totale [kg/m²]
Soletta in c.a	/	1,00	0,04	2500	100,00
Travetti	2	0,10	0,16	2500	80,00
Laterizi	2	0,40	0,16	800	102,00
					282,00

Carichi permanenti non strutturali G_2

Elemento	n°	Base [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kg/m³]	Totale [kg/m²]
----------	----	----------	--------------	------------------------	----------------

Pavimento	/				50,00
Massetto	/	1,00	0,03	200	60,00
Intonaco	/	1,00	0,02	200	40,00
Incidenza tramezzi	/				100,00
					250,00

Il peso totale di un metro di solaio *latero-cemento* dato dalla somma $G_1 + G_2$ è pari a 532,00 kg/m². Il carico variabile q_k per un ambiente ad uso residenziale (categoria A) è pari a 200 kg/m². Le combinazioni di carico allo SLU e allo SLE in condizione frequente si ottengono considerando i seguenti coefficienti:

$$q_{\text{SLU,NTC08}} = 1,3 \times G_1 + 1,3 \times G_2 + 1,5 \times Q_k = 12,91 \text{ kN/m}^2 = 1291,60 \text{ kg/m}^2 \quad (6.108)$$

$$q_{\text{SLE,NTC08,freq}} = G_1 + G_2 + 0,5 \times Q_k = 6,32 \text{ kN/m}^2 = 632,00 \text{ kg/m}^2 \quad (6.109)$$

	Tipologia solaio		
	Porepan	X-LAM	latero-cemento
G_1 [kg/m ²]	96,40	87,50	282,00
G_2 [kg/m ²]	220,00	220,00	250,00

Tab. 6.14 Tabella riepilogativa pesi solaio

6.3.1 Solai porepan senza soletta collaborante (gruppo Q)

Nel seguente capitolo si affronta il problema della determinazione delle rigidezze efficace della sezione composta del *pannello porepan* prodotto dall' *Azienda GR Sistemi* di Tito Scalo (PZ).

Questo calcolo viene effettuato sulla base dei risultati di prove sperimentali condotte presso il Laboratorio di prove dell' Azienda G.R. Sistemi nel 2013.

In particolare in questa campagna di prove si sono portati a rottura, in regime di flessione semplice, le seguenti tipologie di pannelli:

- 3 pannelli porepan con 4 collegamenti lignei;
- 3 pannelli porepan con 2 collegamenti lignei;
- 3 pannelli porepan con un collegamento ligneo;
- 3 pannelli porepan senza collegamenti lignei;
- 3 pannelli con 3 collegamenti lignei senza isolante;

Lo schema statico impiegato per queste prove riportato in figura 6.65

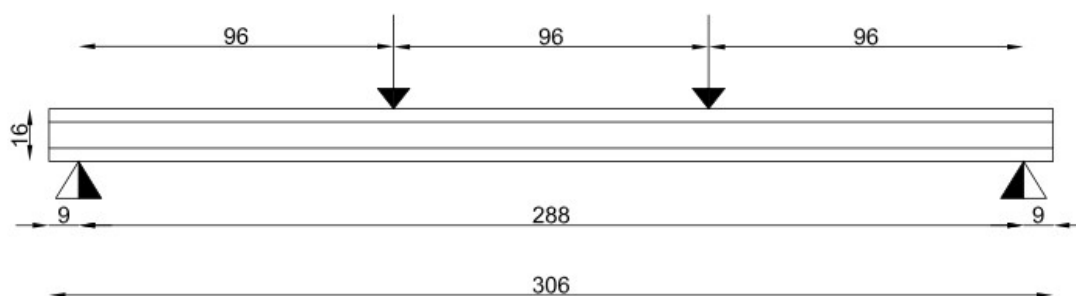


Fig. 6.65 Schema statico della prova

L'analisi dei risultati conseguiti da queste prove risulta importante sia per valutare l'ordine di grandezza di forze e spostamenti in gioco, in modo tale da poter organizzare il nostro set-up di prove sperimentali, ma anche per valutare il grado di efficienza meccanica di questo tipo di sezioni composte.

Pertanto, sulla base della freccia ottenuta sperimentalmente facendo un ragionamento a ritroso si è potuto determinare il valore della rigidezza flessionale efficace $(EI)_{oo}$ della sezione composta legno-EPS-legno (trascurando il contributo del polistirene).

Dalla teoria delle sezioni composte è noto che la rigidezza flessionale efficace della sezione a connessione deformabile (semi-rigida) si determina come:

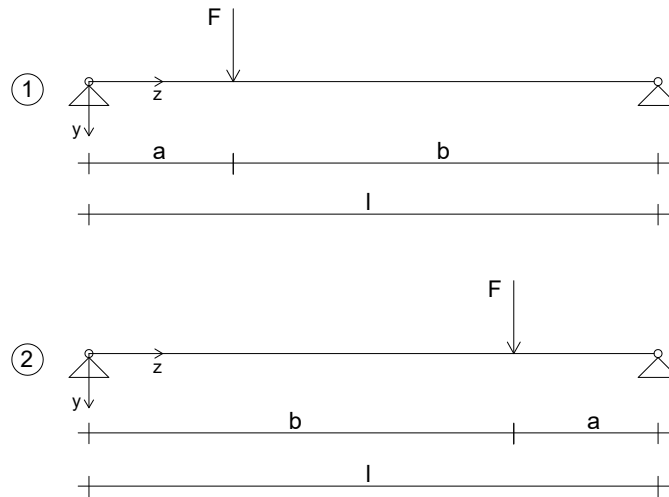
$$(EI)_{eff} = \sum_{i=1}^n E_i I_i + \gamma_2 E_2 A_2 a_2^2 + \gamma_1 E_1 A_1 a_1^2$$

Dove i termini di questa espressione già sono stati chiariti al capitolo 6.

In questa formulazione rientrano parametri relativi al sintema di connessione tra gli elementi, che non sono a noi noti e tra l'altro in questo caso l'unione tra le parte è di tipo incollato.

Pertanto è stato possibile ricavare il valore della rigidezza efficace poiché sono a noi noti i risultati dei test sperimentali; ovvero è nota la freccia in mezzzeria misurata sperimentalmente in corrispondenza del valore della forza al limite elastico. Di seguito si riporta il procedimento di calcolo.

E' noto, dalla scienza delle costruzioni, che il valore della freccia per lo schema di trave in figura sopra si può determinare mediante sovrapposizione degli effetti dei seguenti schemi notevoli:



Con riferimento, ad esempio, al solo schema 1. l'abbassamento in mezzzeria si può determinare come:

$$v\left(\frac{l}{2}\right) = -\frac{Fa^3}{6EI} + \frac{Fa(2l^2 + l^2)}{6EI l} \frac{l}{2} + \frac{Fa l^2}{2EI 4} + \frac{Fa l^3}{6EI l 8}$$

Semplificando:

$$v\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{1}{EI} \left(\frac{Fal^2}{16} - \frac{Fa^2}{12} \right) \quad (1)$$

Essendo nota la freccia in mezzzeria $v(l/2) = f$, dalla (1) si determina il valore della rigidezza flessionale efficace:

$$(EI) = (EI)_{eff} = \left[\frac{\frac{Fal^2}{16} - \frac{Fa^2}{12}}{v\left(\frac{l}{2}\right)} \right] \quad (2)$$

La formula (2) così ottenuta fa riferimento ad uno solo degli schemi notevoli quindi essa va divisa per due per avere la rigidezza efficace reale, in accordo col principio di sovrapposizione degli effetti:

$$(EI)_{eff} = \left[\frac{\frac{Fa^2}{16} - \frac{Fa^2}{12}}{2 v\left(\frac{l}{2}\right)} \right]$$

Nota la rigidezza efficace si può determinare l'efficienza della connessione come:

$$\eta = \frac{(EI)_{eff} - (EI)_0}{(EI)_{\infty} - (EI)_0}$$

Essendo $(EI)_0$ ed $(EI)_{\infty}$ le rigidezza flessionali dei due casi estremi di sezione rispettivamente a connessione infinitamente deformabile e a connessione infinitamente rigida.

La sezione a connessione infinitamente deformabile è quella per cui i due pezzi di sezione sono semplicemente in contatto tra di loro, senza la presenza di elementi di collegamento, pertanto sono esibiscono uno scorrimento relativo. In questo caso la rigidezza complessiva della sezione è data semplicemente dalla somma delle rigidezze.

Nel caso in esame, si è appunto considerato il caso estremo in cui le due tavole di legno sono semplicemente in contatto tra di loro, determinando così la sua rigidezza flessionale.

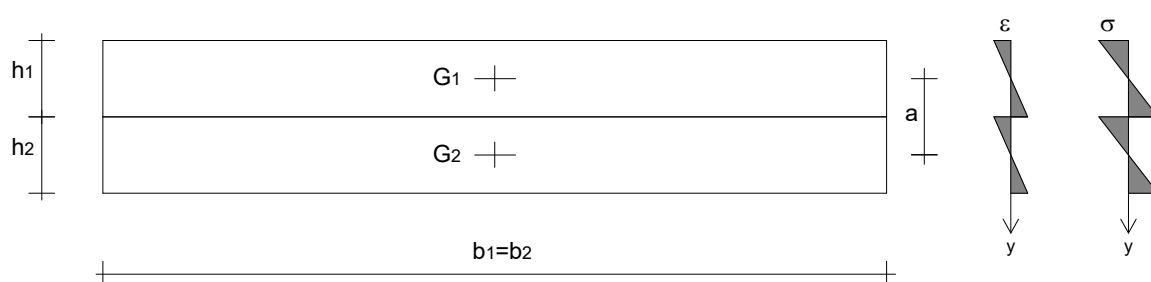


Fig. 6.66 Sezione a connessione infinitamente deformabile

La rigidezza della sezione a connessione infinitamente deformabile si determina come:

$$(EI)_0 = \sum_{i=1}^n E_i I_i = \frac{1}{12} (E_1 b_1 h_1^3 + E_2 b_2 h_2^3)$$

La sezione a connessione a rigidezza infinita è caratterizzata dal fatto che l'intera sezione composta si mantiene piana, con assenza di scorrimenti tra gli elementi. Nel caso in esame si è considerata la sezione come costituita dalla tavola inferiore e superiore centrifugate da una distanza pari proprio allo spessore del polistirolo.

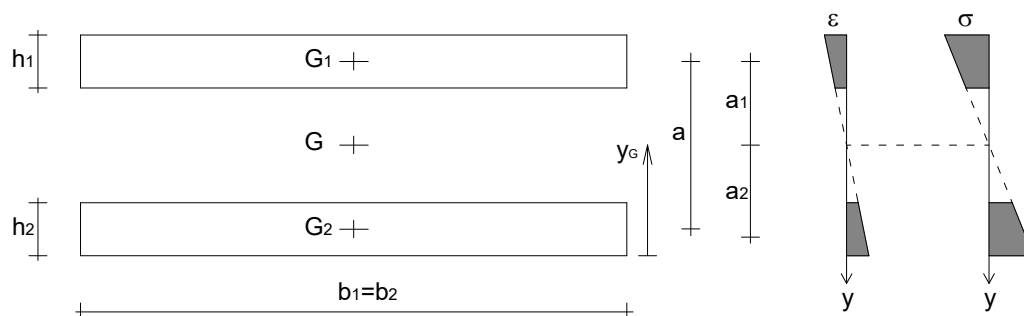


Fig. 6.67 Sezione a connessione infinitamente rigida

Dalla teoria delle sezioni composte è noto che la rigidezza flessionale di questo tipo di sezione si determina come:

$$(EI)_{\infty} = \sum_{i=1}^n E_i I_i + \sum_{i=1}^n E_i A_i a_i^2 = (EI)_0 + (EA)_0 a^2$$

Essendo $(EI)_0$ la rigidezza della sezione a connessione nulla, mentre il termine $(EA)_0$ è dato da:

$$(EA)_0 = \frac{E_1 A_1 E_2 A_2}{\sum_i E_i A_i} = \frac{1}{\frac{1}{E_1 A_1} + \frac{1}{E_2 A_2}}$$

Di seguito si riportano i valori delle rigidezze flessionali ottenuti per la sezione a connessione infinitamente deformabile e per quella a connessione infinitamente rigida:

SEZIONE A CONNESSIONE INFINITAMENTE DEFORMABILE							
tipo di pannello	PROVINO	b1	b2	h1	h2	E	(EI) ₀
	-	mm	mm	mm	mm	Mpa	Nmm ²
porepan con 4 tozzetti	p1f	145	145	40	40	12000	1,856E+10
	p2f	145	145	40	40	12000	1,856E+10
	p3f	145	145	40	40	12000	1,856E+10
3 tozzetti senza isolante	p4f	145	145	40	40	12000	1,856E+10
	p5f	145	145	40	40	12000	1,856E+10
	p6f	145	145	40	40	12000	1,856E+10
porepan con 2 tozzetti	p7f	145	145	40	40	12000	1,856E+10
	p8f	145	145	40	40	12000	1,856E+10
	p9f	145	145	40	40	12000	1,856E+10
porepan	p10f	145	145	40	40	12000	1,856E+10
	p11f	145	145	40	40	12000	1,856E+10
	p12f	145	145	40	40	12000	1,856E+10
porepan con 1 tozzetti	p13f	145	145	40	40	12000	1,856E+10
	p14f	145	145	40	40	12000	1,856E+10
	p15f	145	145	40	40	12000	1,856E+10

Tab. 6.15 Sezione a connessione infinitamente deformabile

SEZIONE A CONNESSIONE INFINITAMENTE RIGIDA															
tipo di pannello	PROVINO	b1	b2	h1	h2	E	(EI) ₀	A1	A2	a1	a2	a	yg	(EA) ₀	(EI) _{inf}
	-	mm	mm	mm	mm	Mpa	Nmm ²	mm ²	mm ²	mm	mm	mm	mm	Nmm ²	Nmm ²
porepan con 4 tozzetti	p1f	145	145	40	40	12000	1,856E+10	5800	5800	60	60	120	80	34800000	5,1968E+11
	p2f	145	145	40	40	12000	1,856E+10	5800	5800	60	60	120	80	34800000	5,1968E+11
	p3f	145	145	40	40	12000	1,856E+10	5800	5800	60	60	120	80	34800000	5,1968E+11
3 tozzetti senza isolante	p4f	145	145	40	40	12000	1,856E+10	5800	5800	60	60	120	80	34800000	5,1968E+11
	p5f	145	145	40	40	12000	1,856E+10	5800	5800	60	60	120	80	34800000	5,1968E+11
	p6f	145	145	40	40	12000	1,856E+10	5800	5800	60	60	120	80	34800000	5,1968E+11
porepan con 2 tozzetti	p7f	145	145	40	40	12000	1,856E+10	5800	5800	60	60	120	80	34800000	5,1968E+11
	p8f	145	145	40	40	12000	1,856E+10	5800	5800	60	60	120	80	34800000	5,1968E+11
	p9f	145	145	40	40	12000	1,856E+10	5800	5800	60	60	120	80	34800000	5,1968E+11
porepan	p10f	145	145	40	40	12000	1,856E+10	5800	5800	60	60	120	80	34800000	5,1968E+11
	p11f	145	145	40	40	12000	1,856E+10	5800	5800	60	60	120	80	34800000	5,1968E+11
	p12f	145	145	40	40	12000	1,856E+10	5800	5800	60	60	120	80	34800000	5,1968E+11
porepan con 1 tozzetti	p13f	145	145	40	40	12000	1,856E+10	5800	5800	60	60	120	80	34800000	5,1968E+11
	p14f	145	145	40	40	12000	1,856E+10	5800	5800	60	60	120	80	34800000	5,1968E+11
	p15f	145	145	40	40	12000	1,856E+10	5800	5800	60	60	120	80	34800000	5,1968E+11

Tab. 6.16 Sezione a connessione infinitamente rigida

Infine si riportano i valori ottenuti per la sezione a collegamento semi-rigido:

SEZIONE A CONNESSIONE DEFORMABILE									
tipo di pannello	PROVINO	$\delta(L/2)$	F	a	b	l	$(EI)_{\text{effettivo}}$	η	η_{medio}
	-	mm	kN	mm	mm	mm	Nmm ²	-	-
porepan con 4 tozzetti	p1f	9,54	4,24	960	1920	2880	1,106E+11	22,5%	22,5%
	p2f	9,54	4,04	960	1920	2880	1,054E+11	20,9%	
	p3f	9,54	4,42	960	1920	2880	1,153E+11	23,9%	
3 tozzetti senza isolante	p4f	9,54	1,35	960	1920	2880	3,521E+10	3,4%	3,5%
	p5f	9,54	1,43	960	1920	2880	3,729E+10	3,9%	
	p6f	9,54	1,31	960	1920	2880	3,416E+10	3,2%	
porepan con 2 tozzetti	p7f	9,54	3,6	960	1920	2880	9,388E+10	17,7%	17,5%
	p8f	9,54	3,54	960	1920	2880	9,232E+10	17,3%	
	p9f	9,54	3,58	960	1920	2880	9,336E+10	17,5%	
porepan	p10f	9,54	2,46	960	1920	2880	6,415E+10	10,0%	7,4%
	p11f	9,54	2,09	960	1920	2880	5,451E+10	7,7%	
	p12f	9,54	1,52	960	1920	2880	3,964E+10	4,4%	
porepan con 1 tozzetto	p13f	9,54	2,7	960	1920	2880	7,041E+10	11,5%	11,3%
	p14f	9,54	2,23	960	1920	2880	5,816E+10	8,6%	
	p15f	9,54	3,06	960	1920	2880	7,98E+10	13,9%	

Tab. 6.17 Sezione a connessione semi-rigida

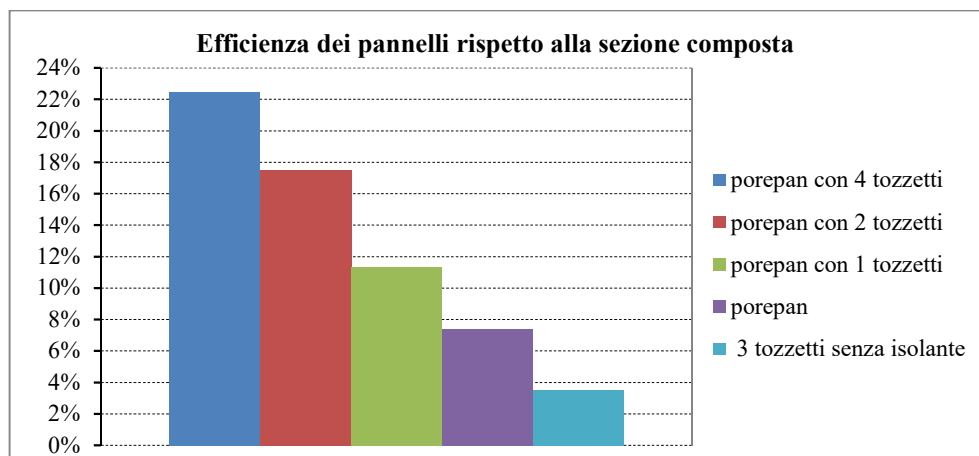


Fig. 6.68 Istogramma dell'efficienza dei pannelli rispetto alla sezione composta infinitamente rigida

Dalla determinazione dell'efficienza meccanica si osserva che il rendimento della sezione risulta essere molto basso. Ciò vuol dire che la presenza dell'EPS di certo non migliora le prestazioni strutturali della sezione rispetto alla configurazione di sezione con due tavole semplicemente accostate. Quindi il minimo incremento di rigidezza flessionale è dovuto certamente alla centrifugazione delle aree.

Un dato confortante è il contributo dei tozzetti di legno che migliorano il rendimento medio di un porepan semplice dal 7,4 % al 22,5 %.

Solaio senza soletta collaborante (gruppo R)

Nel seguente paragrafo si affronta il problema della determinazione delle rigidezze efficace della sezione composta del *pannello porepan* prodotto dall' *Azienda GR Sistemi* di Tito Scalo (PZ).

Questo calcolo viene effettuato sulla base dei risultati di prove sperimentali condotte presso il Laboratorio del DI.ST..

In particolare in questa campagna di prove si sono portati a rottura, in regime di flessione semplice, le seguenti tipologie di pannelli:

- 3 pannelli porepan;
- 3 pannelli porepan con un collegamento ligneo;
- 3 pannelli lignei con due collegamenti lignei senza eps;
- 3 pannelli con collegamenti lignei;

SEZIONE A CONNESSIONE INFINITAMENTE DEFORMABILE							
tipo di pannello	PROVINO	b1	b2	h1	h2	E	(EI) ₀
	-	mm	mm	mm	mm	Mpa	Nmm ²
porepan	F1	220	220	40	40	12000	2,816E+10
	F2	220	220	40	40	12000	2,816E+10
	F3	220	220	40	40	12000	2,816E+10
porepan con un collegamento ligneo	F4	220	220	40	40	12000	2,816E+10
	F5	220	220	40	40	12000	2,816E+10
	F6	220	220	40	40	12000	2,816E+10
pannello con due collegamenti senza eps	F7	220	220	40	40	12000	2,816E+10
	F8	220	220	40	40	12000	2,816E+10
	F9	220	220	40	40	12000	2,816E+10

Tab. 6.18 Sezione a connessione infinitamente deformabile

SEZIONE A CONNESSIONE INFINITAMENTE RIGIDA															
tipo di pannello	PROVINO	b1	b2	h1	h2	E	(EI) ₀	A1	A2	a1	a2	a	yg	(EA) ₀	(EI) _{ef}
	-	mm	mm	mm	mm	Mpa	Nmm ²	mm ²	mm ²	mm	mm	mm	mm	Nmm ²	Nmm ²
porepan	F1	220	220	40	40	12000	2,816E+10	8800	8800	60	60	120	80	52800000	7,8848E+11
	F2	220	220	40	40	12000	2,816E+10	8800	8800	60	60	120	80	52800000	7,8848E+11
	F3	220	220	40	40	12000	2,816E+10	8800	8800	60	60	120	80	52800000	7,8848E+11
porepan con un collegamento ligneo	F4	220	220	40	40	12000	2,816E+10	8800	8800	60	60	120	80	52800000	7,8848E+11
	F5	220	220	40	40	12000	2,816E+10	8800	8800	60	60	120	80	52800000	7,8848E+11
	F6	220	220	40	40	12000	2,816E+10	8800	8800	60	60	120	80	52800000	7,8848E+11
pannello con due collegamenti senza eps	F7	220	220	40	40	12000	2,816E+10	8800	8800	60	60	120	80	52800000	7,8848E+11
	F8	220	220	40	40	12000	2,816E+10	8800	8800	60	60	120	80	52800000	7,8848E+11
	F9	220	220	40	40	12000	2,816E+10	8800	8800	60	60	120	80	52800000	7,8848E+11

Tab. 6.19 Sezione a connessione infinitamente rigida

Infine si riportano i valori ottenuti per la sezione a collegamento semi-rigido:

SEZIONE A CONNESSIONE DEFORMABILE									
tipo di pannello	PROVINO	δ(L/300)	F	a	b	l	(EI) _{effettivo}	η	η _{medio}
	-	mm	kN	mm	mm	mm	Nmm ²	-	-
porepan	F1	4,4	9,958	385	935	1320	7,743E+10	6,5%	7,1%
	F2	4,4	11,57	385	935	1320	8,511E+10	7,5%	
	F3	4,4	11,08	385	935	1320	8,277E+10	7,2%	
porepan con un collegamento ligneo	F4	4,4	11,88	385	935	1320	1,066E+11	10,3%	10,9%
	F5	4,4	13,6	385	935	1320	1,148E+11	11,4%	
	F6	4,4	12,9	385	935	1320	1,114E+11	11,0%	
pannello con due collegamenti senza eps	F7	4,4	10,7	385	935	1320	6,096E+10	4,3%	3,8%
	F8	4,4	8,731	385	935	1320	5,159E+10	3,1%	
	F9	4,4	10,28	385	935	1320	5,896E+10	4,1%	

Tab. 6.20 Sezione a connessione semi-rigida

Una cosa molto importante da notare che i valori dell'efficienza del pannello porepan rispetto alla sezione composta si attestano intorno al 7,1% e dunque non variano in funzione della luce.

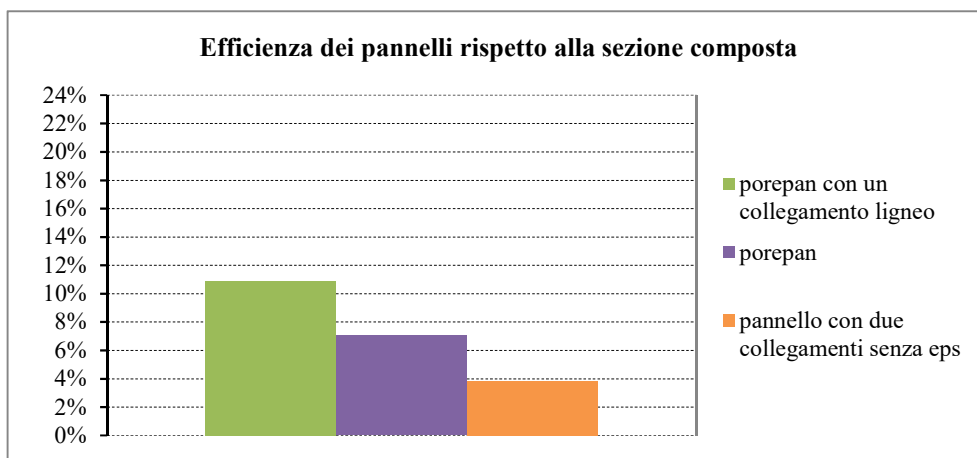


Fig. 6.69 Istogramma dell'efficienza dei pannelli rispetto alla sezione composta infinitamente rigida

6.3.2 Solaio Porepan con soletta (Gruppo H)

Si definisce in generale come “stato limite” uno stato al di là del quale la struttura, o una sua parte, non soddisfa più le esigenze di comportamento per le quali è stata progettata. Occorre distinguere tra due situazioni limite completamente differenti, denominate rispettivamente stato limite ultimo (SLU) e stato limite di esercizio (SLE). Lo stato limite ultimo corrisponde al valore estremo della capacità portante o ad altre forme di cedimento strutturale che possono mettere in pericolo la sicurezza delle persone. Lo stato limite di esercizio è uno stato al di là del quale non risultano essere più soddisfatti i requisiti di esercizio prescritti; comprende quindi situazioni che comportano un rapido deterioramento della struttura o la perdita di funzionalità (vibrazioni eccessive, deformazioni).

Le NTC 08 si limitano a dire che “i limiti di deformabilità devono essere congruenti con le prestazioni richieste alla struttura in relazione alla destinazione d’uso, con riferimento alle esigenze statiche, funzionali, estetiche”. Il CNR-DT 206/2006 raccomanda per il calcolo della freccia massima di non superare il limite di $\frac{1}{300}$ della luce.

Per il solaio *Porepan* si sono effettuate delle analisi numeriche al fine di determinare un carico equivalente allo SLE a un fissato abbassamento di $\frac{L}{300}$, da confrontare con il carico in esercizio $q_{SLE,NTC08}$ in condizione frequente. Inoltre, si è ricavato un carico equivalente in condizioni massime, da confrontare con il carico allo stato limite ultimo $q_{SLU,NTC08}$.

Si riporta, di seguito, una tabella riepilogativa contenente le caratteristiche geometriche dei provini testati (Tab. 6.21).

Sotto-Gruppo	Provino	Distanza appoggi [cm]	Lunghezza [cm]	Larghezza [cm]	Spessore [cm]
H1	P.C.S_1	288	306	40	20
	P.C.S_2	288	306	40	20
	P.C.S_3	288	306	40	20
H2	P.C.S_4	450	468	40	20
	P.C.S_5	450	468	40	20
	P.C.S_6	450	468	40	20

Tab. 6.21 Caratteristiche geometriche dei provini testati

Sotto-gruppo H1 (L=288 cm)

Il carico equivalente allo SLE per il sotto-gruppo **H1** (L = 288 cm) si è ricavato considerando il valore della forza F_{SLE} del provino P.C.S_3 ad un fissato abbassamento in mezzzeria di $\frac{1}{300}$ della luce, mentre il carico equivalente in condizioni massime si è ricavato considerando il valore della forza massima F_{max} a cui corrisponde un abbassamento in mezzzeria di 50,45 mm (Fig. 6.70 e Tab. 6.22).

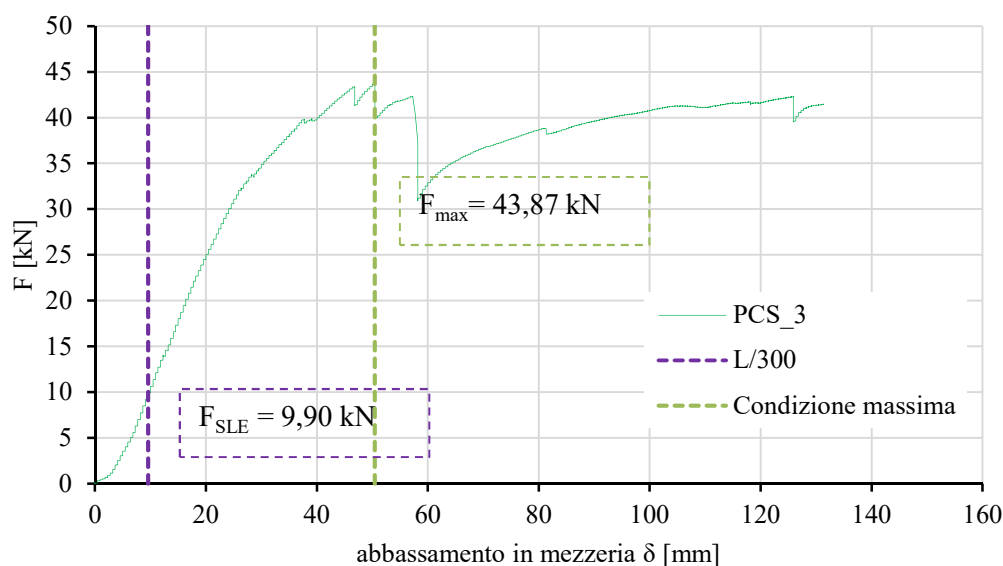


Fig. 6.70 Diagramma riepilogativo forza-abbassamento in mezzeria sotto-gruppo **H1**

Nella tabella seguente si riportano i valori del carico in corrispondenza dell'abbassamento pari ad $\frac{L}{300}$ e nella condizione massima.

abbassamento in mezzeria[mm]	valore del carico [kN]
$\delta = \frac{L}{300} = 9,60 \text{ mm}$	$F_{SLE} = 9,90 \text{ kN}$
condizione massima $\delta = 50,45 \text{ mm}$	$F_{max} = 43,87 \text{ kN}$

Tab. 6.22 Tabella riepilogativa dei valori del carico

Il carico equivalente allo SLE per un solaio con una sezione di base 40 cm è pari a:

$$q_{40}^{\text{equivalente,SLE}} = \frac{F_{SLE}}{L} = \frac{9,90}{2,88} = 3,44 \text{ kN/m}^2 = 344,00 \text{ kg/m}^2 \quad (6.110)$$

Per ricavare il carico relativo ad un solaio di base 100 cm, linearmente possiamo ottenerlo:

$$q_{100}^{\text{equivalente,SLE}} = \frac{1}{0,4} \times \frac{F_{SLE}}{L} = \frac{1}{0,4} \times \frac{9,90}{2,88} = 8,59 \text{ kN/m}^2 = 859,00 \text{ kg/m}^2 \quad (6.111)$$

Da un primo confronto si evince che il carico equivalente allo SLE calcolato dalla prova sperimentale risulta maggiore di quello calcolato nella (6.105) secondo la NTC08 nelle condizioni di esercizio. Ciò potrebbe condurre a pensare che siccome il carico equivalente sperimentale è maggiore di quello atteso da normativa su di un solaio “tipo”, quest’ultimo risulterebbe verificato allo SLE. Tuttavia, la freccia in mezzeria sperimentale non tiene conto degli effetti a lungo termine (deformazioni viscosi) quindi andrebbe effettuata una verifica ulteriore sulla freccia istantanea e quella differita nel tempo.

$$C_{s, SLE} = \frac{q_{100}^{\text{equivalente,SLE}}}{q_{SLE,NTC08}} = \frac{859,00}{416,40} = 2,06 \quad (6.112)$$

Invece, il carico equivalente in condizioni massime per un solaio con una sezione di base 40 cm è pari a:

$$q_{40}^{\text{equivalente,max}} = \frac{F_{\text{max}}}{L} = \frac{43,87}{2,88} = 15,23 \text{ kN/m}^2 = 1523,00 \text{ kg/m}^2 \quad (6.113)$$

Per ricavare il carico relativo a un solaio di base 100 cm, linearmente possiamo ottenerlo:

$$q_{100}^{\text{equivalente,max}} = \frac{1}{0,4} \times \frac{F_{\text{max}}}{L} = \frac{1}{0,4} \times \frac{43,87}{2,88} = 38,08 \text{ kN/m}^2 = 3808,00 \text{ kg/m}^2 \quad (6.114)$$

Da un primo confronto si evince che il carico equivalente calcolato dalla prova sperimentale in condizioni massime risulta maggiore di quello calcolato nella (6.104) secondo la NTC08 nelle condizioni ultime. Infatti è possibile calcolare un coefficiente di sicurezza dei carichi come rapporto tra il carico massimo del solaio *Porepan* e quello previsto dalla normativa tecnica:

$$C_{s, \text{SLU}} = \frac{q_{100}^{\text{equivalente,max}}}{q_{\text{SLU,NTC08}}} = \frac{3808,00}{741,30} = 5,14 \quad (6.115)$$

Ciò potrebbe condurre a pensare che siccome il carico equivalente sperimentale è di gran lunga maggiore di quello atteso da normativa su di un solaio “tipo”, quest’ultimo risulterebbe verificato anche allo SLU. Tuttavia, la verifica da effettuare allo SLU è sulla resistenza di progetto delle sezioni trasversali. Questo necessita di uno studio approfondito della sezione composta del solaio, che non è oggetto del seguente lavoro.

Nel mese di Luglio del 2014, presso il laboratorio del DIST dell’Università degli Studi di Napoli, sono state effettuate tre prove a flessione (su “4 punti forza”) su solai *Porepan*, privi di soletta in calcestruzzo, di luce 306 cm con distanza tra gli appoggi pari a 288 cm (Fig. 6.71).

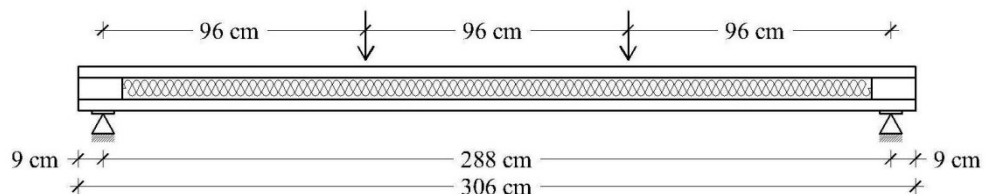


Fig. 6.71 Solai Porepan senza soletta ($L = 288$ cm)

Questi solai presentano una sezione trasversale costante di dimensione 14,5x16 cm (BxH). Siccome l’inerzia è costante lungo tutta la luce del solaio, e siccome la base dei solai del sotto-gruppo **H1** è di 40 cm, è possibile amplificare la dimensione della base mediante un coefficiente dato dal rapporto della base dei solai con soletta e quello senza soletta al fine di ottenere un diagramma forza-abbassamento in mezzeria relativo ad una base di 40 cm.

Fatta questa operazione è possibile confrontare i solai del sotto-gruppo **H1** (con soletta collaborante) con quelli senza soletta al fine di determinare l’incremento di rigidezza di uno rispetto all’altro, per valori fissati di abbassamento, ovvero per $\frac{L}{300}$ ed $\frac{L}{150}$.

In particolare, i provini P.C.S_1 e P.C.S_2, come già mostrato nel paragrafo precedente, hanno manifestato una rottura atipica del giunto a pettine della tavola inferiore. Questa rottura, di tipo fragile, è dovuta molto probabilmente alla mancanza di colla tra le due parti (Fig. 6.72).



Fig. 6.72 Rottura atipica del giunto a pettine

Per tale motivo il confronto è stato effettuato tra il solo provino P.C.S_3 del sotto-gruppo **H1** e la media dei provini privi di soletta in calcestruzzo.

Il diagramma forza-abbassamento in mezzeria per poter ricavare la rigidezza delle due tipologie di solaio, per determinati valori di abbassamento, è il seguente:

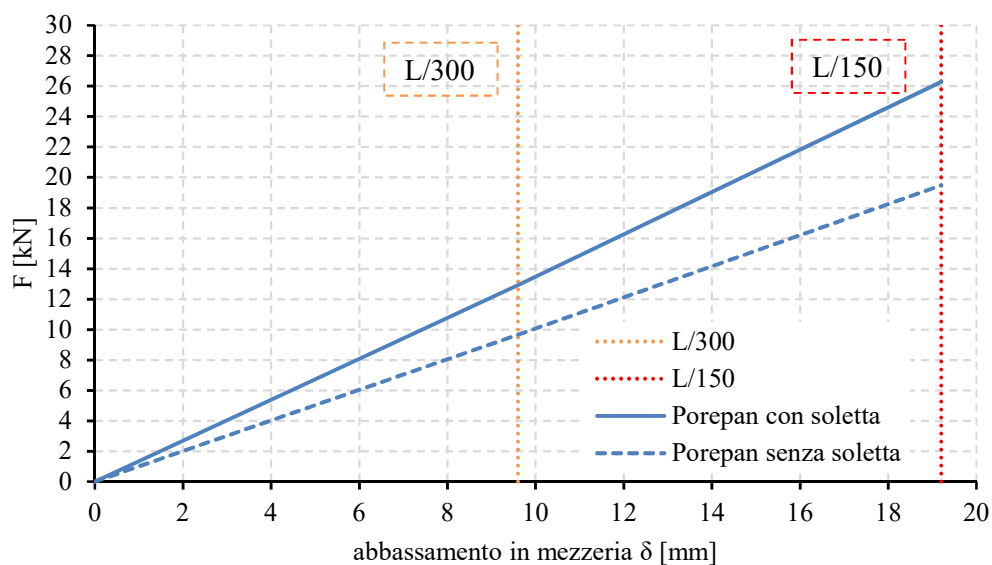


Fig. 6.73 Diagramma forza-abbassamento solai con e senza soletta ($L = 288$ cm)

Dal diagramma si evince che la curva F - δ relativa al provino P.C.S_1 (con soletta) è stata depurata del tratto iniziale poiché, in questa fase, non c'è una perfetta proporzionalità tra il carico e l'abbassamento. Questo è dovuto al fatto che la macchina di prova, nel tratto iniziale, non riesce a calibrare il carico in maniera precisa.

I valori del carico, in corrispondenza di $\frac{L}{300}$ ed $\frac{L}{150}$, vengono riportati nella seguente tabella:

Tipologia del solaio	abbassamento $\frac{L}{300}=9,60$ mm	abbassamento $\frac{L}{150}=19,20$ mm
con soletta	$F_{L/300}^{con}=12,92$ kN	$F_{L/150}^{con}=26,28$ kN
senza soletta	$F_{L/300}^{senza}=9,65$ kN	$F_{L/150}^{senza}=19,48$ kN

Tab. 6.23 Valori del carico per L/300 ed L/150

Determinati i carichi per $\frac{L}{300}$ ed $\frac{L}{150}$ è possibile calcolare la rigidezza k come rapporto tra la forza e lo spostamento, ovvero:

$$k = \frac{F}{\delta} \text{ [kN/m]} \quad (6.116)$$

Si riporta, di seguito, una tabella contenente i valori di rigidezza k per $\frac{L}{300}$ ed $\frac{L}{150}$:

Tipologia del solaio	k per $\delta = \frac{L}{300}=9,60$ mm	k per $\delta = \frac{L}{150}=19,20$ mm
con soletta	$k_{L/300}^{con} = 1345,83$ kN/m	$k_{L/150}^{con} = 1368,75$ kN/m
senza soletta	$k_{L/300}^{senza} = 1005,21$ kN/m	$k_{L/150}^{senza} = 1014,58$ kN/m

Rapportando i valori delle rigidezze si ottiene, in percentuale, il parametro di confronto delle due tipologie di solaio. In particolare, il rapporto:

$$\frac{k_{L/300}^{con}}{k_{L/300}^{senza}} = \frac{1345,83}{1005,21} = 1,34 \text{ \%} \quad (6.117)$$

esprime che il solaio con soletta, per un abbassamento pari ad $\frac{L}{300}$, presenta una rigidezza maggiore del 34% rispetto ai solai *Porepan* senza soletta; mentre il rapporto:

$$\frac{k_{L/150}^{con}}{k_{L/150}^{senza}} = \frac{1368,75}{1014,58} = 1,35 \text{ \%} \quad (6.118)$$

esprime che il solaio con soletta, per un abbassamento pari ad $\frac{L}{150}$, presenta una rigidezza maggiore del 35% rispetto ai solai *Porepan* senza soletta.

Si riporta, di seguito una scheda riepilogativa del confronto tra le due tipologie di solaio:

Carichi e rigidezze	Solaio Porepan con soletta	Solaio Porepan senza soletta	Rapporto tra le rigidezze
$F_{L/300}$	12,92 kN	9,65 kN	
$k_{L/300}$	1345,83 kN/m	1005,21 kN/m	$\frac{k_{L/300}^{con}}{k_{L/300}^{senza}} = 1,34 \text{ \%}$
$F_{L/150}$	26,28 kN	19,48 kN	
$k_{L/150}$	1368,75 kN/m	1014,58	$\frac{k_{L/150}^{con}}{k_{L/150}^{senza}} = 1,35 \text{ \%}$

Tab. 6.24 Scheda riepilogativa di confronto

Sotto-gruppo **H2** ($L = 450 \text{ cm}$)

Il carico equivalente allo SLE per il sotto-gruppo **H2** ($L = 450 \text{ cm}$) si è ricavato considerando il valore della forza media $F_{\text{med,SLE}}$ dei provini P.C.S_4 e P.C.S_6 ad un fissato abbassamento in mezzeria di $\frac{1}{300}$ della luce, mentre il carico equivalente in condizioni massime si è ricavato considerando il valore della forza media massima $F_{\text{med,max}}$ a cui corrisponde un abbassamento in mezzeria di 102,00 mm (Fig. 6.74 e Tab. 6.25).

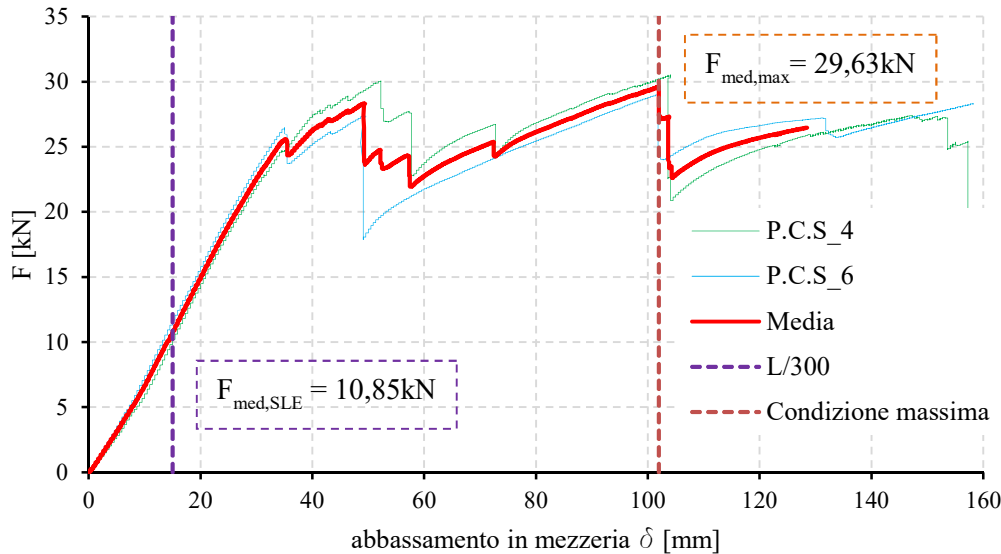


Fig. 6.74 Diagramma riepilogativo forza-abbassamento in mezzeria sotto-gruppo **H2**

Nella tabella seguente si riportano i valori del carico in corrispondenza dell'abbassamento pari ad $\frac{L}{300}$ e nella condizione massima.

abbassamento in mezzeria[mm]	valore del carico [kN]
$\delta = \frac{L}{300} = 15,00 \text{ mm}$	$F_{\text{med,SLE}} = 10,85 \text{ kN}$
condizione massima $\delta = 102,00 \text{ mm}$	$F_{\text{med,max}} = 29,63 \text{ kN}$

Tab. 6.25 Tabella riepilogativa dei valori del carico

Il carico equivalente allo SLE per un solaio con una sezione di base 40 cm è pari a:

$$q_{40}^{\text{equivalente,SLE}} = \frac{F_{\text{med,SLE}}}{L} = \frac{10,85}{4,50} = 2,41 \text{ kN/m}^2 = 241,00 \text{ kg/m}^2 \quad (6.119)$$

Per ricavare il carico relativo a un solaio di base 100 cm, linearmente possiamo ottenerlo:

$$q_{100}^{\text{equivalente,SLE}} = \frac{1}{0,4} \times \frac{F_{\text{med,SLE}}}{L} = \frac{1}{0,4} \times \frac{10,85}{4,50} = 6,03 \text{ kN/m}^2 = 603,00 \text{ kg/m}^2 \quad (6.120)$$

Da un primo confronto si evince che il carico equivalente calcolato dalla prova sperimentale risulta maggiore di quello calcolato nella (6.105) secondo la NTC08 nelle condizioni di esercizio. Ciò potrebbe condurre a pensare che siccome il carico equivalente sperimentale è maggiore di quello atteso da normativa su di un solaio “tipo”, quest’ultimo risulterebbe verificato allo SLE. Tuttavia, la freccia in mezzeria sperimentale non tiene conto degli effetti a lungo termine (deformazioni viscosi) quindi andrebbe effettuata una verifica ulteriore sulla freccia istantanea e quella differita nel tempo.

$$C_{s, SLE} = \frac{q_{100}^{\text{equivalente, SLE}}}{q_{SLE, NTC08}} = \frac{603,00}{416,40} = 1,45 \quad (6.121)$$

Invece, il carico equivalente in condizioni massime per un solaio con una sezione di base di 40 cm è pari:

$$q_{40}^{\text{equivalente, max}} = \frac{F_{\text{med, max}}}{L} = \frac{29,63}{4,50} = 6,58 \text{ kN/m}^2 = 658,00 \text{ kg/m}^2 \quad (6.122)$$

Per ricavare il carico relativo a un solaio di base 100 cm, linearmente possiamo ottenerlo:

$$q_{100}^{\text{equivalente, max}} = \frac{1}{0,4} \times \frac{F_{\text{med, max}}}{L} = \frac{1}{0,4} \times \frac{29,63}{4,50} = 16,46 \text{ kN/m}^2 = 1646,00 \text{ kg/m}^2 \quad (6.123)$$

Da un primo confronto si evince che il carico equivalente calcolato dalla prova sperimentale in condizioni massime risulta maggiore di quello calcolato nella (6.104) secondo la NTC08 nelle condizioni ultime. Infatti potremmo calcolare un coefficiente di sicurezza dei carichi come rapporto tra il carico massimo del solaio *Porepan* e quello previsto dalla normativa tecnica:

$$C_{s, SLU} = \frac{q_{100}^{\text{equivalente, max}}}{q_{SLU, NTC08}} = \frac{1646,00}{741,30} = 2,22 \quad (6.124)$$

Ciò potrebbe condurre a pensare che siccome il carico equivalente sperimentale è di gran lunga maggiore di quello atteso da normativa su di un solaio “tipo”, quest’ultimo risulterebbe verificato anche allo SLU. Tuttavia, la verifica da effettuare allo SLU è sulla resistenza di progetto delle sezioni trasversali. Questo necessita di uno studio approfondito della sezione composta del solaio, che non è oggetto del seguente lavoro.

6.4 Prove a flessione sui collegamenti tra diversi pannelli porepan

Prima di effettuare un confronto tra i risultati ottenuti tramite prove sperimentali riportate in precedenza e le formulazioni proposte dalle normative cogenti ai fini della determinazione della resistenza dei collegamenti, è doveroso dedicare quantomeno un paragrafo alla teoria di Johansen adottata dalle stesse. In particolare, le N.T.C./08 al paragrafo 4.4.9 riportano: *“La capacità portante e la deformabilità dei mezzi di unione possono essere valutate con riferimento a normative di comprovata validità”*, pertanto nel prosieguo ci si rifarà alle CNR DT 206/2007 e alle indicazioni riportate al suo interno. Tale documento, relativamente i collegamenti lignei realizzati con connettori metallici a gambo cilindrico, si rifà alla teoria formulata da Johansen che propone un modello comportamentale del collegamento di tipo rigido plastico non considerando rotture di tipo fragile. Quest’ultime sono da intendersi:

- spacco – “splitting”;
- espulsione di tasselli di legno in corrispondenza dei singoli connettori – “plug shear”;
- strappo lungo il perimetro del gruppo di mezzi di unione – “group tear out”;
- strappo della sezione trasversale lignea decurtata dell’area dei fori.

Di seguito immagini rappresentative delle rotture fragili sopra elencate:

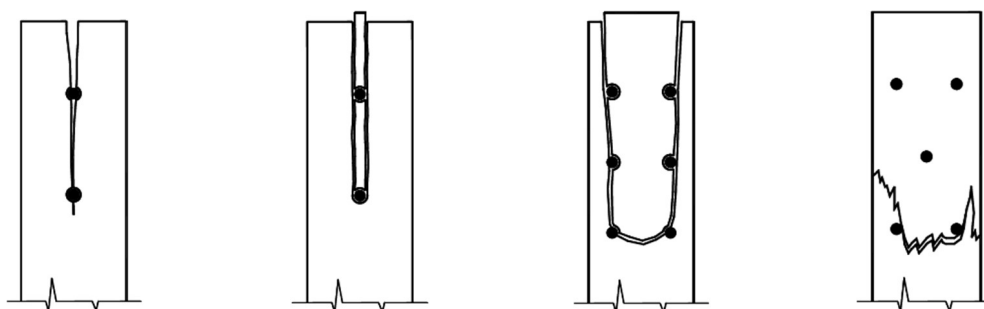


Fig. 6.75 In ordine: *splitting*, *plug shear*, *group tear out*, *strappo sezione lignea netta*

Per evitare rotture fragili le CNR impongono il rispetto di distanze minime sia tra i connettori, sia tra i connettori e i bordi dell’elemento ligneo collegato. Quest’ultime, che variano in base al tipo di unione realizzata, sono state rispettate durante la preparazione di tutti i provini.

Le modalità di collasso che possono presentarsi sono varie, ma in via del tutto generale, dal momento che una trattazione accurata della teoria di Johansen non è l’obiettivo che si intende perseguire in questo elaborato di tesi, è possibile ricondurle ai seguenti casi:

- rifollamento del legno;
- formazione di una o due cerniere plastiche nel connettore metallico più rifollamento del legno.

Le CNR impongono di prendere il valore minimo di resistenza corrispondente al primo meccanismo di collasso che si attiva il quale è funzione del numero dei piani di taglio e dal tipo di elementi collegati: legno – legno o legno – acciaio. In quest’ultimo caso la teoria formulata da Johansen si particolarizza ulteriormente e pertanto bisogna capire se si rientra nel caso di:

- piastra d'acciaio spessa;
- piastra d'acciaio sottile.

Altro non si dirà in quanto, come già accennato, la trattazione della teoria di Johansen non è l'obiettivo di questo elaborato.

Prima di procedere al calcolo della resistenza dei collegamenti realizzati nei vari provini, è bene definire i simboli utilizzati nel prosieguo:

- t_1 e t_2 sono gli spessori degli elementi di legno collegati;
- $f_{h,1,k}$, $f_{h,2,k}$ sono le resistenze caratteristiche a rifollamento negli elementi di legno caratterizzati rispettivamente dallo spessore t_1 e t_2 ;
- d è il diametro del mezzo di unione;
- $M_{y,k}$ è il momento di snervamento caratteristico del mezzo di unione;
- $F_{ax,Rk}$ è la resistenza caratteristica all'estrazione che varia in funzione del mezzo di unione utilizzato;
- $\beta = f_{h,2,k} / f_{h,1,k}$.

Calcolo resistenza del collegamento secondo la teoria di Johansen del provino P.C_a_1

Il collegamento in esame è un collegamento legno – legno con un piano di taglio. Nel seguito verrà calcolata dapprima la resistenza del collegamento, facendo riferimento alla teoria di Johansen, e poi a ritroso, noto lo schema statico, la massima forza che dovrà essere applicata al fine di determinare la rottura dello stesso.

La resistenza caratteristica del collegamento è data dal più piccolo dei seguenti valori:

- $f_{h,1,k} t_1 d$;
- $f_{h,2,k} t_2 d$;
- $\frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_1}{t_2} + \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$;
- $1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,k}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$;
- $1,05 \frac{f_{h,2,k} t_2 d}{1+(2+\beta)} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,k}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$;
- $1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,k} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$.

Nel caso in esame il meccanismo di collasso che si attiva è il rifollamento del legno con una resistenza ultima caratteristica pari a $V_{Rk} = 4,02$ kN.

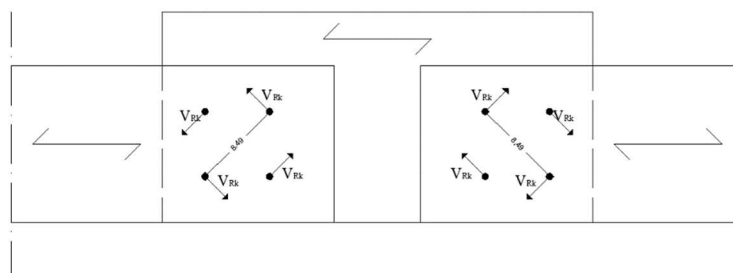


Fig.6.76 Andamento resistenze caratteristiche del collegamento P.C_a_1

6.77) si ottiene il massimo momento agente nel collegamento pari a $M_{ed} = \frac{(\frac{FL}{4})}{2}$, avendo supposto che l'andamento del momento nel tratto centrale sia costante e pari al massimo, e diviso per due in quanto sull'altra faccia del pannello ligneo sono presenti ulteriori 4 viti.

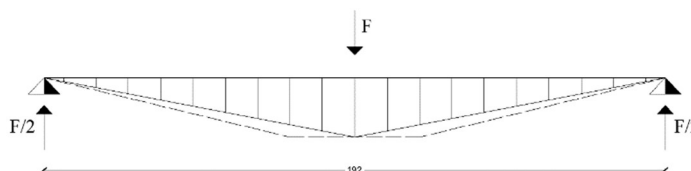


Fig.6.77 Diagramma del momento flettente nello schema statico (reale e fittizio)

Questo, a fine prova, sarà proprio uguale al momento generato dalle forze V_{Rk} pari a:

$$M_{Rd} = (4,02 * \frac{8,49}{2}) * 4.$$

Uguagliando M_{Ed} con M_{Rd} si ricava il valore della forza, pari in questo caso a 2,84 kN, che dovrà essere applicata affinché possa innescarsi il meccanismo di collasso manifestatosi a fine prova.

Calcolo resistenza del collegamento secondo la teoria di Johansen del provino P.C_a_2

Il collegamento in esame è un collegamento legno – legno con due piani di taglio. Nel seguito verrà calcolata dapprima la resistenza del collegamento, facendo riferimento alla teoria di Johansen, e poi a ritroso, noto lo schema statico secondo, la massima forza che dovrà essere applicata al fine di determinare la rottura dello stesso.

La resistenza caratteristica del collegamento è data dal più piccolo dei seguenti valori:

- $f_{h,1,k} t_1 d$;
- $0,5 f_{h,2,k} t_2 d$;
- $1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,k}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$;
- $1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,k} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$.

Nel caso in esame il meccanismo di collasso che si attiva è il rifollamento del legno con una resistenza ultima caratteristica pari a $V_{Rk} = 4,02$ kN.

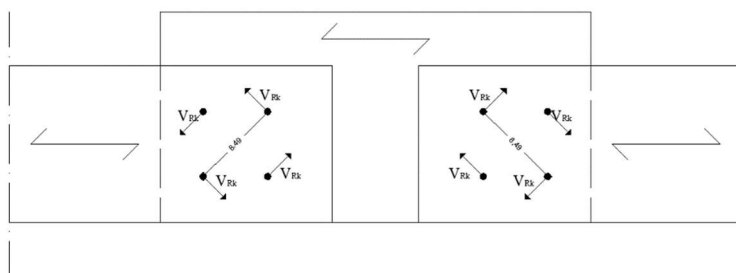


Fig.6.78 Andamento resistenze caratteristiche del collegamento del provino P.C_a_2

A questo punto, dallo schema statico si ottiene il massimo momento agente nel collegamento pari a $M_{ed} = \frac{(F_L)}{2}$, avendo supposto che l'andamento del momento nel tratto centrale sia costante e pari al massimo, dove con due sono stati indicati i piani di taglio.

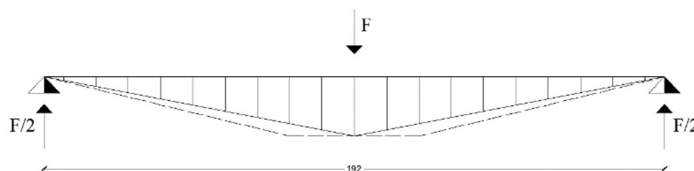


Fig.6.79 Diagramma del momento flettente nello schema statico (reale e fittizio)

Questo, a fine prova sarà proprio uguale al momento generato dalle forze V_{Rk} pari a:

$$M_{Rd} = (4,02 * \frac{8,49}{2}) * 4.$$

Uguagliando M_{Ed} con M_{Rd} si ricava il valore della forza, in questo caso pari a 2,84 kN, che dovrà essere applicata affinché possa innescarsi il meccanismo di collasso del collegamento manifestatosi a fine prova.

Calcolo resistenza del collegamento secondo la teoria di Johansen del provino P.C_b_1

Il collegamento in esame è un collegamento legno – legno con un piano di taglio. Nel seguito verrà calcolata dapprima la resistenza del collegamento, facendo riferimento alla teoria di Johansen, e poi a ritroso, noto lo schema statico secondo, la massima forza che dovrà essere applicata al fine di determinare la rottura dello stesso.

La resistenza caratteristica del collegamento è data dal più piccolo dei seguenti valori:

- $f_{h,1,k}t_1d$;
- $f_{h,2,k}t_2d$;
- $\frac{f_{h,1,k}t_1d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_1}{t_2} + \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^2 \right]} + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$;
- $1,05 \frac{f_{h,1,k}t_1d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,k}}{f_{h,1,k}dt_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$;
- $1,05 \frac{f_{h,2,k}t_2d}{1+(2+\beta)} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,k}}{f_{h,1,k}dt_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$;

- $1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,k} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}.$

Nel caso in esame il meccanismo di collasso che si attiva è il rifollamento del legno con una resistenza ultima caratteristica pari a $V_{Rk} = 4,02$ kN.

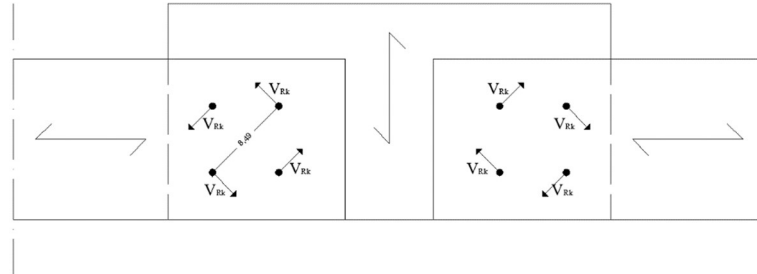


Fig.6.80 Andamento resistenze caratteristiche del collegamento del provino *P.C_b_1*

A questo punto, dallo schema statico si ottiene il massimo momento agente nel collegamento pari a $M_{ed} = \frac{(\frac{FL}{4})}{2}$, avendo supposto che l'andamento del momento nel tratto centrale sia costante e pari al massimo, e diviso per due in quanto sull'altra faccia del pannello ligneo sono presenti altre 4 viti.

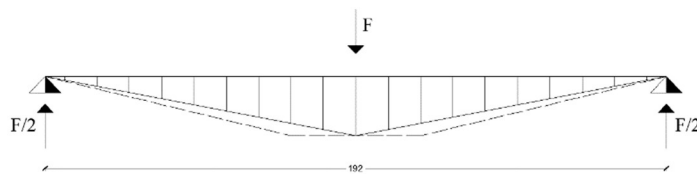


Fig.6.81 Diagramma del momento flettente nello schema statico (reale e fittizio)

Questo, a fine prova sarà proprio uguale al momento generato dalle forze V_{rk} pari a:

$$M_{Rd} = (4,02 * \frac{8,49}{2}) * 4.$$

Uguagliando M_{Ed} con M_{Rd} si ricava il valore della forza, in questo caso pari a 2,84 kN, che dovrà essere applicata affinché possa innescarsi il meccanismo di collasso del collegamento manifestatosi a fine prova.

*Calcolo resistenza del collegamento secondo la teoria di Johansen del provino *P.C_c_1**

Il collegamento in esame è un collegamento legno – acciaio (caso piastra spessa) con un piano di taglio. Nel seguito verrà calcolata dapprima la resistenza del collegamento, facendo riferimento alla teoria di Johansen, e poi a ritroso, noto lo schema statico, la massima forza che dovrà essere applicata al fine di determinare la rottura del collegamento.

La resistenza caratteristiche del collegamento è data dal più piccolo dei seguenti valori:

- $f_{h,k} t_1 d;$
- $2,3 \sqrt{2M_{y,k} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4};$
- $f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}.$

Nel caso in esame il meccanismo di collasso che si attiva è il rifollamento del legno con una resistenza ultima caratteristica pari a $V_{Rk} = 4,02$ kN.

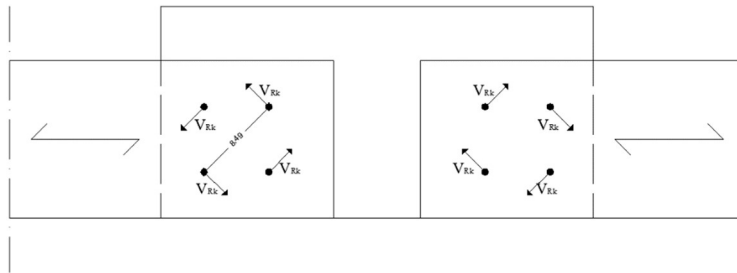


Fig.6.82 Andamento resistenze caratteristiche del collegamento del provino *P.C_c_1*

A questo punto, dallo schema statico si ottiene il massimo momento agente nel collegamento pari a $M_{ed} = \frac{(FL)}{2}$, avendo supposto che l'andamento del momento nel tratto centrale sia costante e pari al massimo, e diviso per due in quanto sull'altra faccia del pannello ligneo sono presenti altre 4 viti.

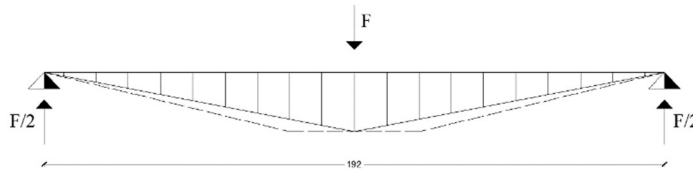


Fig.6.83 Diagramma del momento flettente nello schema statico (reale e fittizio)

Questo, a fine prova sarà proprio uguale al momento generato dalle forze V_{Rk} pari a:

$$M_{Rd} = (4,02 * \frac{8,49}{2}) * 4.$$

Uguagliando M_{Ed} con M_{Rd} si ricava il valore della forza, in questo caso pari a 2,85 kN, che dovrà essere applicata affinché possa innescarsi il meccanismo di collasso del collegamento manifestatosi a fine prova.

Calcolo resistenza del collegamento secondo la teoria di Johansen del provino P.C_c_1

Il collegamento in esame è un collegamento legno – acciaio (caso piastra spessa) con due piani di taglio. Nel seguito verrà calcolata dapprima la resistenza del collegamento, facendo riferimento alla teoria di Johansen, e poi a ritroso, noto lo schema statico, la massima forza che dovrà essere applicata al fine di determinare la rottura del collegamento. La resistenza caratteristiche del collegamento è data dal più piccolo dei seguenti valori:

- $f_{h,k} t_1 d$;
- $2,3 \sqrt{2 M_{y,k} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$.
- $f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$.

Nel caso in esame il meccanismo di collasso che si attiva è il rifollamento del legno con una resistenza ultima caratteristica pari a $V_{Rk} = 4,02$ kN.

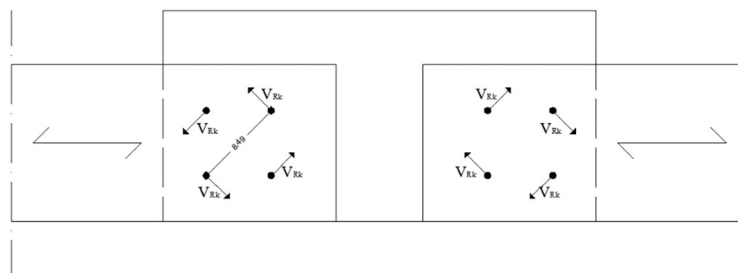


Fig.6.84 Andamento resistenze caratteristiche del collegamento del provino *P.C_c_1*

A questo punto, dallo schema statico si ottiene il massimo momento agente nel collegamento pari a $M_{ed} = \frac{FL}{4}$, avendo supposto che l'andamento del momento nel tratto centrale sia costante e pari al massimo, e indicato con due i piani di taglio.

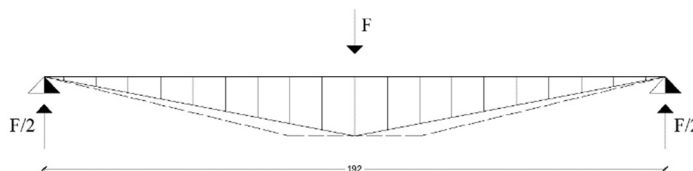


Fig.6.85 Diagramma del momento flettente nello schema statico (reale e fittizio)

Questo, a fine prova sarà proprio uguale al momento generato dalle forze V_{rk} pari a:

$$M_{Rd} = \left(4,02 * \frac{8,49}{2}\right) * 4.$$

Uguagliando M_{Ed} con M_{Rd} si ricava il valore della forza, in questo caso pari a 2,85 kN, che dovrà essere applicata affinché possa innescarsi il meccanismo di collasso del collegamento manifestatosi a fine prova

Considerazioni complessive sui provini e confronto con teoria di Johansen

Dalle prove effettuate emerge che i valori di forza raggiunti nei provini *P.C_a*, *P.C_b* e *P.C_c* sono compresi tra i 2.04 e i 3.36 kN. Tra questi il collegamento che manifesta un comportamento migliore è quello appartenente ai provini del gruppo *P.C_a* in cui il legno rifolla con direzione parallela alle fibre. Il collegamento che manifesta il comportamento peggiore è quello appartenente al gruppo *P.C_b* in cui il legno non può rifollare perché è sollecitato ortogonalmente alle fibre ed ha un comportamento di tipo fragile. Per tutti i casi appena citati sono stati calcolati anche i valori teorici mediante la teoria di Johansen secondo le CNR-DT 206/2007, facendo riferimento ai casi di collegamento legno-legno con uno e due piani di taglio e legno acciaio con uno e due piani di taglio. I risultati ottenuti mostrano che:

- per il provino *P.C_a_1* il valore teorico è maggiore di quello sperimentale;
- per il provino *P.C_a_2* il valore teorico è minore di quello sperimentale;
- per il provino *P.C_b* il valore sperimentale risulta minore di quello teorico e questo è legato al fatto che la rottura è di tipo fragile pertanto il legno prima di rifollare si rompe per trazione ortogonale.

- per il provino $P.C_c_1$ e $P.C_c_2$ il valore teorico risulta maggiore di quello sperimentale e questo è legato al fatto che le viti sono state inserite realizzando un preforo iniziale che ha provocato una non perfetta aderenza tra vite e profilo scatolare.

Per i provini appartenenti all'ultimo gruppo il confronto con la teoria di Johansen non lo si può effettuare, ma è possibile effettuare altri tipi di considerazioni:

- per il provino $P.C_d_1$ l'aggiunta di una vite "tirafondo" di collegamento tra i due pannelli aumenta molto la resistenza a flessione portandola al triplo di quella di due pannelli semplicemente collegati (gruppo $P.C_a$, $P.C_b$, $P.C_c$);
- per il provino $P.C_d_2$ prima di arrivare alla tensione di rifollamento del legno, il collegamento si rompe per trazione ortogonale alle fibre con valori di F_{max} molto ridotti rispetto al caso precedente, nonostante la presenza di viti "tirafondo".

Seguono grafici e tabelle riassuntive di quanto detto.

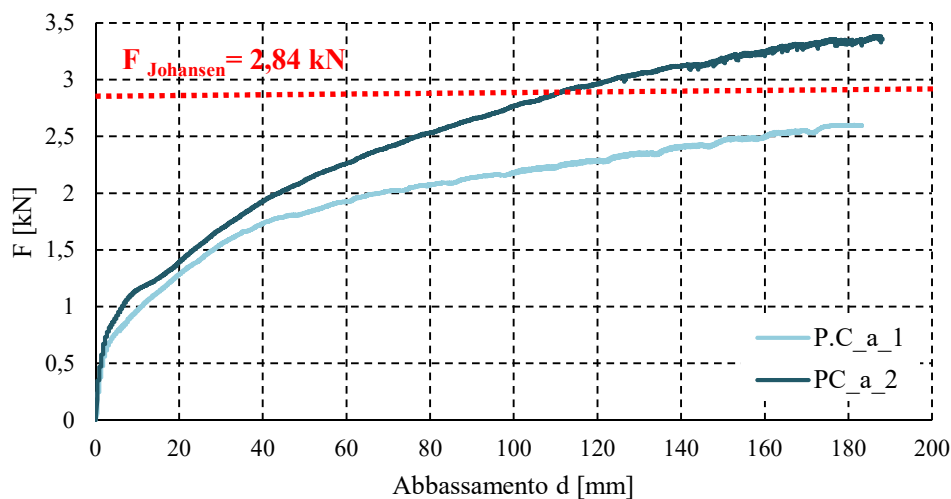


Fig.6.86 Confronto teoria di Johansen e prova sperimentale gruppo $P.C_a$

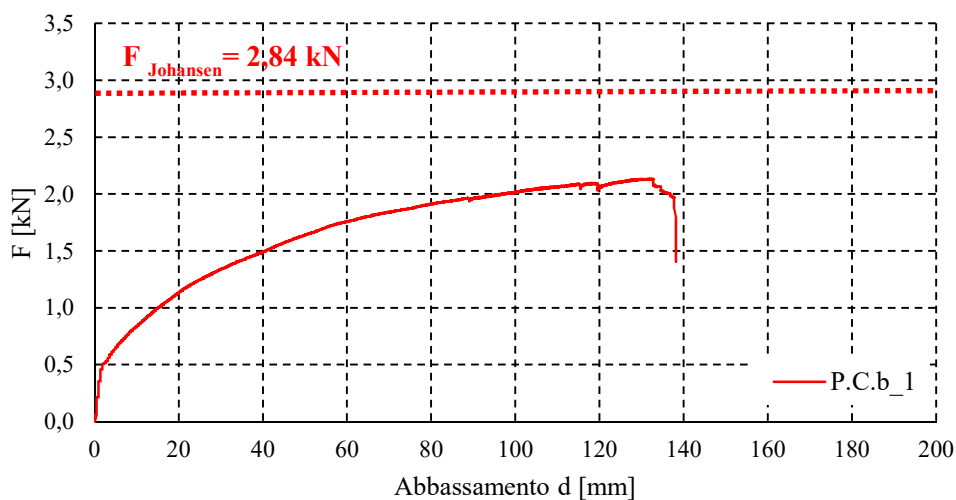


Fig.6.87 Confronto teoria di Johansen e prova sperimentale gruppo $P.C_b$

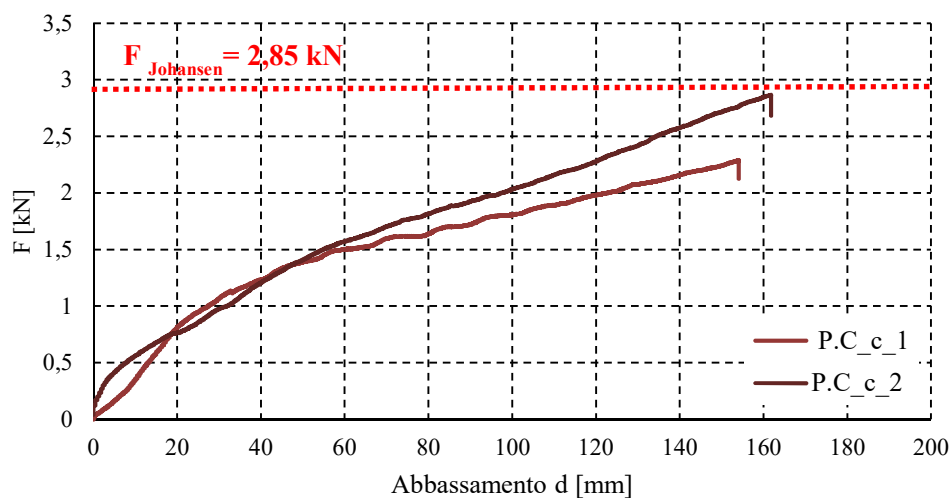


Fig.6.88 Confronto teoria di Johansen e prova sperimentale gruppo *P.C_c*

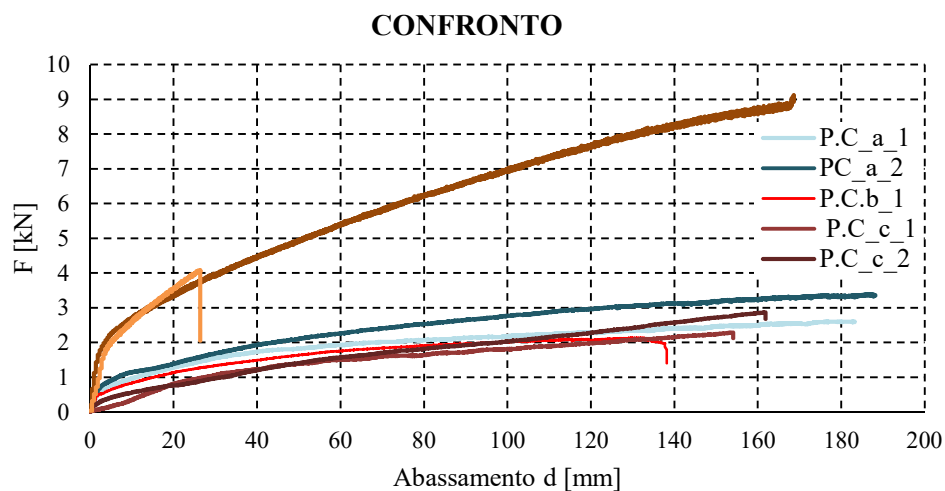


Fig. 6.89 Diagramma forza abbassamento in mezzeria di tutti i provini

Dati sperimentali		Rottura	Teoria Johansen		Rottura	Δ
Provino	F_{max} [kN]	-	F_{Rk} [kN]	-	-	%
P.C_a_1	2.60	Snerv. legno	2.84	Snerv. legno e plastic. vite		-9
P.C_a_2	3.36	Snerv. legno	2.84	Snerv. legno e plastic. vite		+18
P.C_b_1	2.13	Traz. ortog.	2.84	Snerv. legno e plastic. vite		-25
P.C_c_1	2.13	Snerv. legno	2.85	Snervamento legno		-25
P.C_c_2	2.68	Snerv. legno	2.85	Snervamento legno		-6
P.C_d_1	9.12	Snerv. legno	-	Snerv. legno e plastic. vite		-
P.C_d_2	4.06	Traz. ortog.	-	Snerv. legno e plastic. vite		-

Tab. 6.26 Riepilogo dati sperimentali e teorici

6.5 Considerazioni sul pannello Porepan soggetto ad instabilità

In merito all'analisi sperimentale svolta su pannelli lignei soggetti a carico di punta, in questo paragrafo si riportano brevi relazioni, diagrammi riepilogativi ed elaborazioni numeriche su base teorica della campagna di prove effettuata.

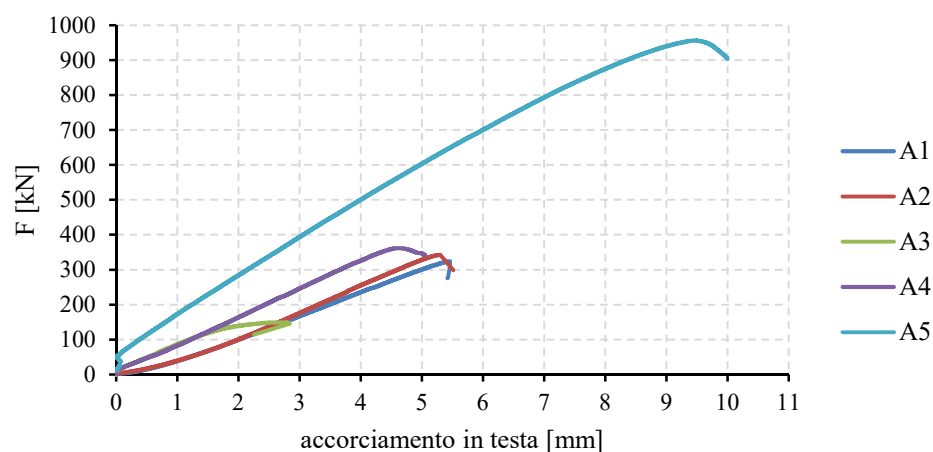


Fig. 6.90 Diagramma riepilogativo forza-accorciamento in testa

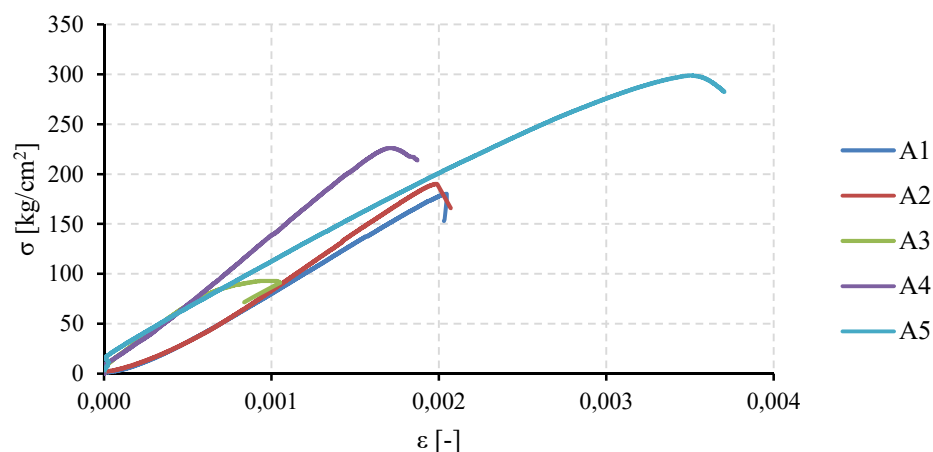


Fig. 6.91 Diagramma riepilogativo σ - ϵ

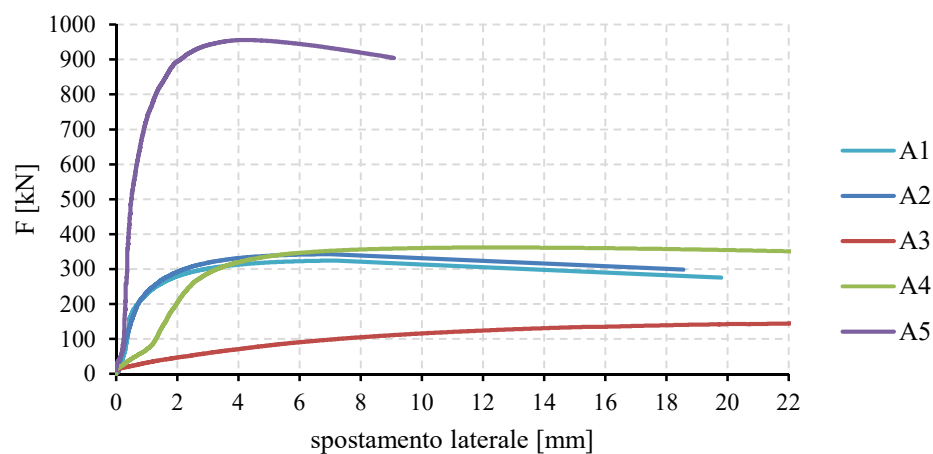


Fig. 6.92 Diagramma riepilogativo forza-spostamento laterale

Per i cinque sotto-gruppi, sono rappresentati, in funzione dello sforzo normale, l'accorciamento in testa del provino e lo spostamento laterale (Fig. 6.90, 6.91 e 6.92).

Tutti i provini del Gruppo A hanno esibito un comportamento elastico-lineare fino all'attingimento del carico critico.

In tutti i casi, quando si attivano (repentinamente) i fenomeni di instabilità, i collegamenti di legno disposti tra le tavole si rompono per trazione ortogonale alle fibre, mentre l'interposto eps (a seguito della flessione del pannello) manifesta rotture a taglio con lesioni inclinate all'incirca a 45° (Fig. 6.93). Le tavole di legno, anche dopo l'attingimento dell'instabilità globale, restano in campo elastico, tanto che, una volta eliminato il carico al termine della prova, esse ritornano nella configurazione iniziale, praticamente indeformate.



Fig. 6.93 Foto rottura a taglio eps e rottura a trazione tozzetto

I valori del carico critico misurati nelle varie prove sono stati abbastanza simili per i primi due sotto-gruppi: i provini del sotto-gruppo A1 hanno esibito un valore medio del carico critico di circa 337 kN, corrispondente ad una tensione di compressione $\sigma_{critica,media} = 187,5 \text{ kg/cm}^2$; i provini del sotto-gruppo A2 hanno esibito un valore medio del carico critico di circa 393 kN, corrispondente ad un valore della tensione critica $\sigma_{critica,media} = 218,2 \text{ kg/cm}^2$.

Il provino del sotto-gruppo A3 ha esibito un valore del carico critico di circa 148 kN, corrispondente ad una tensione di compressione $\sigma_{critica,media} = 92,0 \text{ kg/cm}^2$, il provino del sotto-gruppo A4 ha esibito un valore del carico critico di circa 361 kN, corrispondente ad una tensione di compressione $\sigma_{critica,media} = 226,1 \text{ kg/cm}^2$ ed infine il provino del sotto-gruppo A5 ha esibito un valore del carico critico di circa 955 kN, corrispondente ad una tensione di compressione $\sigma_{critica,media} = 298,7 \text{ kg/cm}^2$.

In Tabella 6.27 viene riportato un quadro riassuntivo dei risultati ottenuti per tutti i provini testati. In essa F_{crit} e $\sigma_{critica}$ indicano la forza critica e la corrispondente tensione; $w_{F_{crit}}$ e $d_{F_{crit}}$ indicano rispettivamente l'abbassamento in testa e lo spostamento laterale del provino.

Sotto-gruppo	Provino	F_{crit} [kN]	$w_{F_{crit}}$ [mm]	$d_{F_{crit}}$ [mm]	$\sigma_{critica}$ [kg/cm ²]	σ_{med} [kg/cm ²]	$\sigma_{med,tot}$ [kg/cm ²]
A1	P.I.0	355,5	5,6	5,1	197,5		
	P.I.1	349,7	5,5	11,7	194,3	187,5	202,9
	P.I.2	314,7	5,4	11,5	174,8		

	P.I.3	329,9	6,5	9,7	183,3	
	P.I.4	347,7	6,2	15,1	193,1	
A2	P.I.5	412,9	6,4	9,2	229,4	218,2
	P.I.6	417,9	5,7	10,3	232,2	
A3	P.I.7	148,8	2,7	31,8	92,0	/
A4	P.I.8	361,7	4,6	12,6	226,1	/
A5	P.I.9	955,2	9,4	4,1	298,7	/

Tab. 6.27 Tabella riepilogativa dei risultati (prove di instabilità)

Si può notare, dai diagrammi precedentemente mostrati, che per tutti i provini del sotto-gruppo A1, il legame forza-abbassamento è perfettamente elastico fino all'attingimento del carico critico, che, data la snellezza dell'elemento, avviene con il materiale ancora ampiamente in campo elastico. Esiste comunque una capacità portante residua post-critica, che varia tra i 50 ed i 110 kN, cioè tra 1/6 e 1/3 del carico critico.

I diagrammi forza-spostamento laterale manifestano spostamenti pressoché nulli fino all'attingimento del carico critico, a dimostrazione di una buona centratura del carico e di ridotte imperfezioni geometriche. Il successivo tratto "plastico" conferma l'indifferenza dell'equilibrio in corrispondenza del carico critico, fino all'insorgere di rotture per taglio e/o flessione nel piano trasversale del pannello causate dai grandi spostamenti, che portano alla perdita quasi totale della capacità portante a sforzo normale.

I provini del sotto-gruppo A2 hanno esibito analogo comportamento, con valori del carico critico solo leggermente superiori e capacità portante residua post-critica variabile tra i 70 ed i 110 kN.

Il provino del sotto-gruppo A3 ha esibito un comportamento elastico fino al valore del carico critico che risulta molto più basso rispetto agli altri provini (meno della metà) ed una capacità portante residua post-critica pari a circa 120 kN.

Il provino del sotto-gruppo A4 ha esibito un comportamento elastico fino al valore del carico critico che risulta di poco maggiore rispetto a quelli del sotto-gruppo A1 ed una capacità portante residua post-critica pari a circa 110 kN.

Il provino del sotto-gruppo A5 ha esibito un comportamento elastico fino al valore del carico critico che risulta pari a più del doppio dei provini dei sotto-gruppo A1, A2 e A4 ed una capacità portante residua post-critica pari a circa 700 kN.

Con lo scopo di ricavare una relazione ed un'analisi critica tra la base teorica e l'analisi sperimentale, sono stati confrontati i valori di tensione normale critica sperimentali con quelle di tensione critica teorica.

In merito ai pannelli del sotto-gruppo A1, A2 e A4, i valori di tensione critica teorica sono stati valutati considerando due casi limite:

- ipotesi di collegamento infinitamente deformabile (tensione critica teorica σ^0);

- ipotesi di collegamento infinitamente rigido (tensione critica teorica σ^∞).

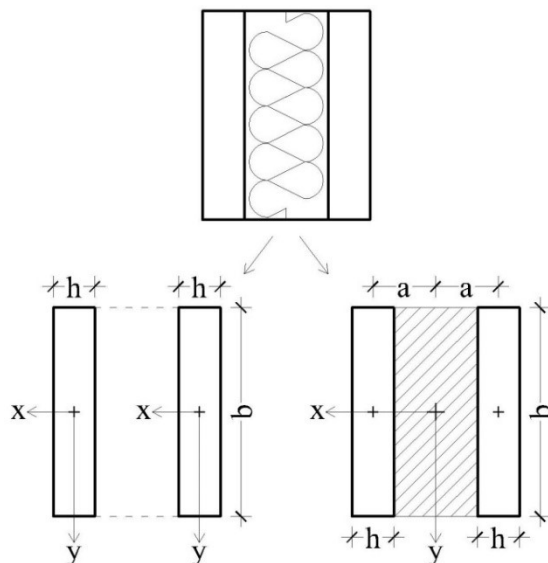


Fig. 6.94 Connessione inf. deformabile

Fig. 6.95 Connessione inf. rigida

Per ottenere i valori delle tensioni teoriche di instabilità σ^0 e σ^∞ , sono stati ricavati rispettivamente, per i due casi considerati, i valori dei momenti d'inerzia minimi valutati per una sezione trasversale in cui il grado di connessione tra le tavole è nullo I^0 (Fig. 6.94) e i momenti d'inerzia valutati per una sezione trasversale in cui il grado di connessione tra le tavole è infinito I^∞ (Fig. 6.95). In particolare, I^0 e I^∞ vengono forniti dalle seguenti relazioni:

$$I^0 = 2 \frac{bh^3}{12} \quad (6.17)$$

$$I^\infty = 2 \frac{bh^3}{12} + 2bha^2 \quad (6.18)$$

Il modulo elastico dei pannelli lignei, caratteristica del materiale, è stato espresso mediante il rapporto tra tensione e deformazione. Esso, si è ricavato relazionando la media delle tensioni relative ai cinque sotto-gruppi ad una fissata deformazione pari all'1‰ (Fig. 6.96 e Tab. 6.29).

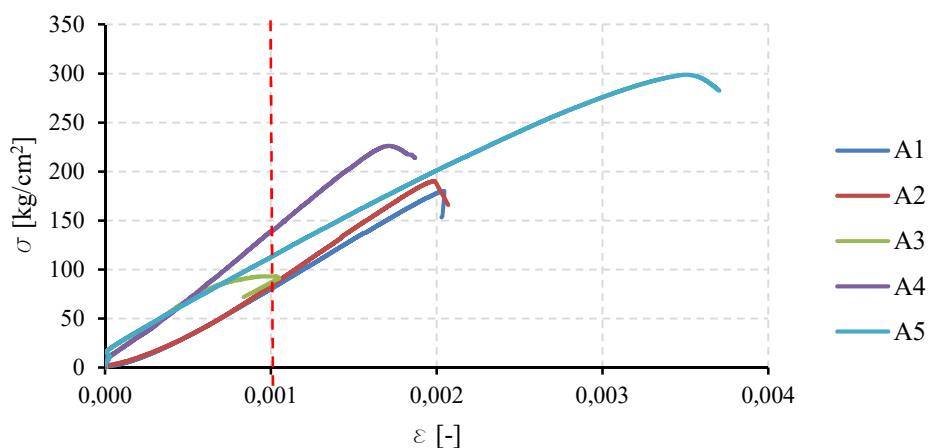


Fig. 6.96 Diagramma riepilogativo σ - ε

Sotto-gruppi	σ [kg/cm ²]	ε [-]	E [kg/cm ²]	E_{med} [kg/cm ²]
A1	93,01	0,001	93010	103368
A2	84,32	0,001	84320	
A3	77,06	0,001	77060	
A4	148,0	0,001	148000	
A5	114,45	0,001	114450	

Tab. 6.29 Tabella riepilogativa valutazione modulo elastico

Il modulo elastico medio ricavato è pari a 103368 kg/cm². Tuttavia, in questa trattazione si è considerato un modulo elastico di 100000 kg/cm².

Nella particolare configurazione di prova adottata, il provino è stato considerato come vincolato con due cerniere agli estremi. Invece, nel momento in cui è stata raggiunta l'instabilità, alcune deformate si sono presentate come quelle di un'asta appoggiata e incastrata alla base. Tale fenomeno è dovuto principalmente all'attrito che c'è stato tra la piastra e il pannello. L'attrito creatosi è proporzionale al carico assiale mediante il coefficiente di attrito.

Per la lunghezza libera d'inflessione l_0 si è esaminato comunque il caso più gravoso, ovvero quello per il quale il provino sia vincolato con due cerniere agli estremi (Fig. 6.97). Quindi per le condizioni di vincolo adottate, la lunghezza libera d'inflessione è stata considerata pari all'altezza del provino ($l_0 = L$).

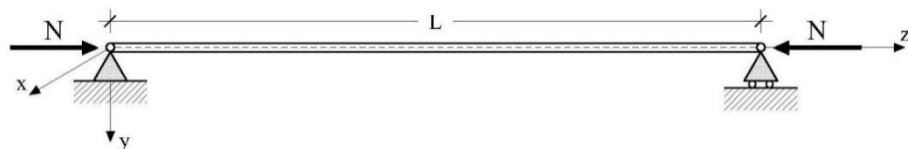


Fig. 6.97 Schema dell'asta di Eulero

I pannelli esaminati dei sotto-gruppi A1 e A2 presentano:

- una sezione trasversale di 22,5x4cm (b×h);
- modulo elastico $E = 100000$ kg/cm²;
- lunghezza libera di inflessione $l_0 = 280$ cm (considerando ai 270 cm del pannello anche i 10 cm della cella di carico e dello snodo);
- area $A = 22,5 \times 4 = 90$ cm².

I valori dei momenti d'inerzia calcolati rispetto all'asse debole valgono:

$$I^0 = 2 \frac{22,5 \times 4^3}{12} = 240 \text{ cm}^4 \quad (6.19)$$

$$I^\infty = 2 \frac{22,5 \times 4^3}{12} + 2 \times 22,5 \times 4 \times 6^2 = 6720 \text{ cm}^4 \quad (6.20)$$

mentre le tensioni teoriche di instabilità assumono valore pari a:

$$\sigma^0 = \frac{\pi^2 EI^0}{I_0^2 A} = \frac{3,14^2 \times 100000 \times 240}{280^2 \times 22,5 \times 2 \times 4} = 16,8 \text{ kg/cm}^2 \quad (6.21)$$

$$\sigma^\infty = \frac{\pi^2 EI^\infty}{I_0^2 A} = \frac{3,14^2 \times 100000 \times 6720}{280^2 \times 22,5 \times 2 \times 4} = 469,5 \text{ kg/cm}^2 \quad (6.22)$$

La tensione sperimentale dei pannelli $\sigma^{\text{sperimentale}}$ è stata valutata come rapporto tra il carico di instabilità e l'area netta della sezione trasversale del provino, ovvero:

$$\sigma^{\text{sperimentale}} = \frac{N_{\text{crit}}}{A} \quad (6.23)$$

I pannelli esaminati dei sotto-gruppi A3 e A4, invece presentano:

- una sezione trasversale di 20x4cm (b×h);
- modulo elastico $E = 100000 \text{ kg/cm}^2$;
- lunghezza libera di inflessione $L_0 = 280 \text{ cm}$ (considerando ai 270 cm del pannello anche i 10 cm della cella di carico e dello snodo);
- area $A = 20 \times 2 \times 4 = 160 \text{ cm}^2$.

I valori dei momenti d'inerzia calcolati rispetto all'asse debole valgono:

$$I^0 = 2 \frac{20 \times 4^3}{12} = 213,3 \text{ cm}^4 \quad (6.24)$$

$$I^\infty = 2 \frac{20 \times 4^3}{12} + 2 \times 20 \times 4 \times 6^2 = 5973,3 \text{ cm}^4 \quad (6.25)$$

mentre le tensioni teoriche di instabilità assumono valore pari a:

$$\sigma^0 = \frac{\pi^2 EI^0}{I_0^2 A} = \frac{3,14^2 \times 100000 \times 213,3}{280^2 \times 20 \times 2 \times 4} = 16,8 \text{ kg/cm}^2 \quad (6.26)$$

$$\sigma^\infty = \frac{\pi^2 EI^\infty}{I_0^2 A} = \frac{3,14^2 \times 100000 \times 5973,3}{280^2 \times 20 \times 2 \times 4} = 469,5 \text{ kg/cm}^2 \quad (6.27)$$

Inoltre è stato valutato il rendimento della sezione, al fine di valutare l'efficienza del grado di connessione tra le tavole. Il rendimento della sezione, denominato con η , è definito come:

$$\eta = \frac{EI_{\text{eff}} - EI_0}{EI_\infty - EI_0} \quad (6.28)$$

$$N_{\text{crit}} = \pi^2 \frac{EI_{\text{min}}}{I_0^2} \quad (6.29)$$

$$\eta = \frac{\frac{N_{\text{sperim}} \times I_0^2}{\pi^2} - \frac{N^0 \times I_0^2}{\pi^2}}{\frac{N^\infty \times I_0^2}{\pi^2} - \frac{N^0 \times I_0^2}{\pi^2}} \quad (6.30)$$

$$\eta = \frac{\frac{I_0^2}{\pi^2} \left(\frac{N_{\text{sperim}}}{A} - \frac{N^0}{A} \right)}{\frac{I_0^2}{\pi^2} \left(\frac{N^\infty}{A} - \frac{N^0}{A} \right)} \quad (6.31)$$

$$\eta = \frac{\sigma^{\text{sperimentale}} - \sigma^0}{\sigma^\infty - \sigma^0} \quad (6.32)$$

Come mostra la Tabella 6.30 i rendimenti per i sotto-gruppi A1 e A2 rispetto ad una sezione con connessione infinitamente rigida variano tra il 35% ed il 47%, considerando uno schema di colonna semplicemente appoggiata (Fig. 6.98).

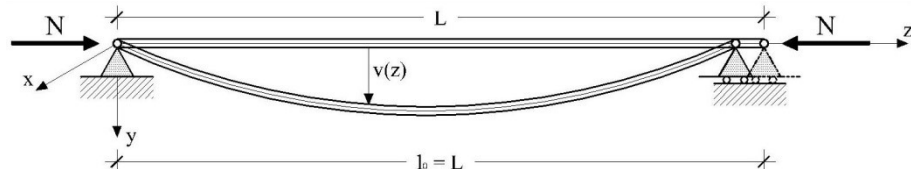


Fig. 6.98 Schema di colonna semplicemente appoggiata

Sotto-gruppi	Provini	F_{crit} [kN]	$\sigma^{\text{sperimentale}}$ [kg/cm ²]	σ^0 [kg/cm ²]	σ^∞ [kg/cm ²]	η [%]
A1	P.I.0	355,50	197,50			39,9%
	P.I.1	349,66	194,26			39,2%
	P.I.2	314,68	174,82			34,9%
	P.I.3	329,97	183,32	16,8	469,5	36,8%
A2	P.I.4	347,71	193,17			39,0%
	P.I.5	412,88	229,38			47,0%
	P.I.6	417,96	232,20			47,6%
A3	P.I.7	148,84	93,03	16,8	/	/
A4	P.I.8	361,74	226,1	16,8	469,5	46,2%
A5	P.I.9	955,92	298,7	$\sigma^{\text{eurel.}} = 288,5 \text{ kg/cm}^2$		103 %

Tab. 6.30 Carico critico e tensione critica di instabilità (Gruppo A)

Per il provino del sotto-gruppo A5 si è confrontato la tensione critica sperimentale con quella teorica di Eulero. I valori ottenuti sperimentalmente coincidono con quelli teorici.

Il pannello esaminato presenta:

- una sezione trasversale di 20x4cm (b×h);
- modulo elastico $E = 100000 \text{ kg/cm}^2$;
- lunghezza libera di inflessione $l_0 = 270 \text{ cm}$ (in quanto per questo caso si è utilizzata la cella di carico già presente sulla macchina) ;
- area $A = 20 \times 2 \times 4 = 160 \text{ cm}^2$.

La tensione teorica euleriana è data da:

$$\sigma^{\text{teorica euleriana}} = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2 A} = \frac{3,14^2 \times 100000 \times 6826}{270^2 \times 16 \times 20} = 288,5 \text{ kg/cm}^2 \quad (6.33)$$

Di seguito, si è analizzato il caso in cui il pannello fosse stato vincolato mediante una cerniera ed un incastro alla base. Ciò, comporta una lunghezza libera d'inflessione pari a $l_0 = 0,7L$ e quindi una tensione critica teorica più grande.

Le tensioni critiche teoriche, per i due gradi di connessione, assumono valore pari a:

$$\sigma^0 = \frac{\pi^2 EI^0}{l_0^2 A} = \frac{3,14^2 \times 100000 \times 240}{0,7 \times 280^2 \times 22,5 \times 2 \times 4} = 23,95 \text{ kg/cm}^2 \quad (6.34)$$

$$\sigma^\infty = \frac{\pi^2 EI^\infty}{l_0^2 A} = \frac{3,14^2 \times 100000 \times 6720}{0,7 \times 280^2 \times 22,5 \times 2 \times 4} = 670,72 \text{ kg/cm}^2 \quad (6.35)$$

mentre il rendimento della sezione è dato da:

$$\eta = \frac{\sigma^{\text{sperimentale}} - \sigma^0}{\sigma^\infty - \sigma^0} \quad (6.36)$$

Come mostra la Tabella 6.31 i rendimenti per i sotto-gruppi A1 e A2 rispetto ad una sezione con connessione infinitamente rigida variano tra il 20% ed il 33%, considerando uno schema di colonna incastrata e appoggiata (Fig. 6.99).

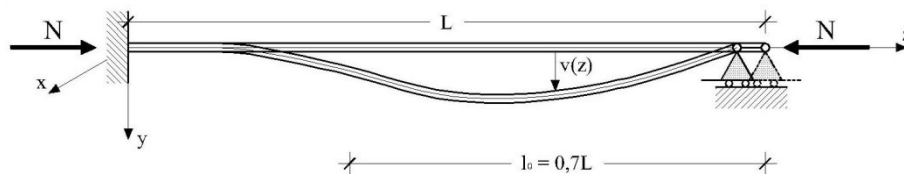
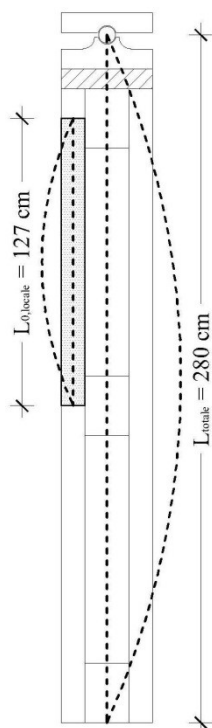


Fig. 6.99 Schema di colonna incastrata-appoggiata

Sotto-gruppi	Provini	F_{crit} [kN]	$\sigma^{\text{sperimentale}}$ [kg/cm ²]	σ^0 [kg/cm ²]	σ^∞ [kg/cm ²]	η [%]
A1	P.I.0	355,50	197,50			26,8%
	P.I.1	349,66	194,26			26,3%
	P.I.2	314,68	174,82			23,3%
	P.I.3	329,97	183,32	23,95	670,72	24,6%
A2	P.I.4	347,71	193,17			26,2%
	P.I.5	412,88	229,38			31,8%
	P.I.6	417,96	232,20			32,2%
A3	P.I.7	148,84	93,03	23,95	/	/
A4	P.I.8	361,74	226,1	23,95	670,72	31,3%
A5	P.I.9	955,92	298,7	$\sigma^{\text{eurel.}} = 412,1 \text{ kg/cm}^2$		72,5 %

Tab. 6.31 Carico critico e tensione critica di instabilità (Gruppo A)

Per il provino del sottogruppo A3 si è ricavato il valore della snellezza ricavata dalla prova sperimentale $\lambda^{\text{sperimentale}}$ e lo si è confrontato con i valori delle snellezze teoriche $\lambda_{\text{totale}}^0$ e $\lambda_{\text{totale}}^\infty$ nel caso di schema di colonna incastrata e appoggiata e con il valore della snellezza di una singola tavola λ_{locale} .



$$\lambda^{\text{sperimentale}} = \pi \sqrt{\frac{E}{f_{\text{crit}}}} = 3,14 \times \sqrt{\frac{100000}{93,03}} = 103,0 \quad (6.37)$$

$$\lambda_{\text{locale}} = \frac{L_{0,\text{locale}}}{\rho_{\text{min}}} \quad (6.38)$$

$$\rho_{\text{min}}^0 = \sqrt{\frac{I_{\text{min}}^0}{A}} = \sqrt{\frac{213,3}{160}} = 1,15 \text{ cm} \quad (6.39)$$

$$\lambda_{\text{locale}} = \frac{L_{0,\text{locale}}}{\rho_{\text{min}}^0} = \frac{127}{1,15} = 110,4 \quad (6.40)$$

$$\lambda_{\text{totale}}^0 = \frac{L_{0,\text{totale}}}{\rho_{\text{min}}^0} = \frac{280 \times 0,7}{1,15} = 170,43 \quad (6.41)$$

$$\rho_{\text{min}}^\infty = \sqrt{\frac{I_{\text{min}}^\infty}{A}} = \sqrt{\frac{5973,3}{160}} = 6,11 \text{ cm} \quad (6.42)$$

$$\lambda_{\text{totale}}^\infty = \frac{L_{\infty,\text{totale}}}{\rho_{\text{min}}^\infty} = \frac{280 \times 0,7}{6,11} = 32,08 \quad (6.43)$$

Dall'analisi, si è ricavato che il valore $\lambda^{\text{sperimentale}}$ del provino ottenuto dalle prove sperimentali è molto prossimo al valore di λ_{locale} della singola tavola. Tuttavia, il comportamento del provino sotto carico di punta è risultato essere differente, mostrando un'instabilità di tipo globale più che locale. Infatti dalla deformata critica di instabilità il provino ha manifestato un comportamento intermedio tra i valori di snellezza $\lambda_{\text{totale}}^0$ e $\lambda_{\text{totale}}^\infty$. Questo è dato dalla presenza dei collegamenti lignei tra le tavole. Infatti essi contribuiscono alla rigidezza totale del pannello.

Viene riportata inoltre, la distribuzione dei valori delle tensioni critiche di instabilità ottenuti dalle prove sperimentali (dal provino P.I.0 al P.I.6) secondo una distribuzione normale o Gaussiana (Fig. 6.100). Due parametri molto importanti per esaminare un insieme di valori casuali sono il *valore medio* μ e lo *scarto quadratico medio* (o *deviazione standard*) σ .

Essi sono definiti rispettivamente da:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (6.44)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2} \quad (6.45)$$

In questo caso valgono rispettivamente:

Media	Deviazione standard
$\mu = 202,9 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma = 20 \text{ kg/cm}^2$

La funzione di densità di probabilità ha un caratteristico aspetto a campana ed è definita in maniera completa se si conoscono σ e μ e mediante l'equazione:

$$p(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (6.46)$$

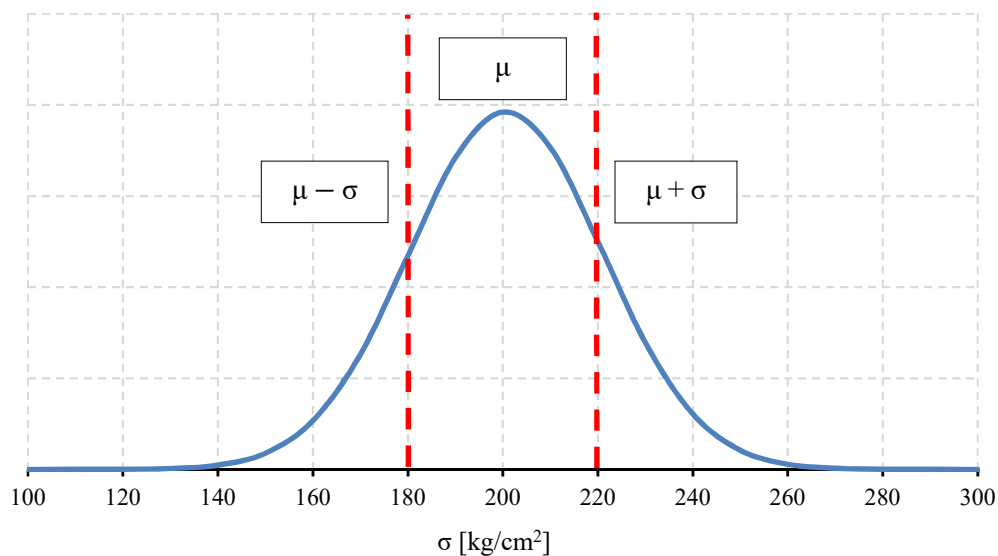


Fig. 6.100 Distribuzione gaussiana della tensione di instabilità per i provini dei sotto gruppi A1 e A2



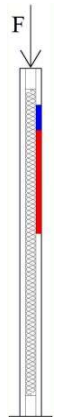
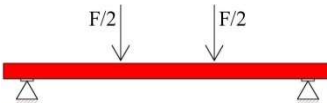
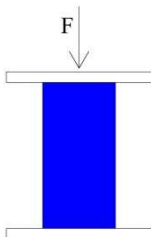





Fig. 6.101 Foto inizio prova dei cinque gruppi di provini



Fig. 6.102 Foto fine prova dei cinque gruppi di provini

Quadro riassuntivo dei pannelli del gruppo A

Si riporta, di seguito, un quadro riassuntivo all'interno del quale vengono riportati i valori di tensione medi per ogni sotto-gruppo ricavati dalle prove sperimentali (Tab. 6.32). In particolare sono stati calcolati i valori medi della tensione di instabilità, della tensione media a flessione e quella media in compressione per i diversi sotto-gruppi.

		 $\sigma_{crit,med}$ [kg/cm ²] Tensione critica di instabilità	 $\sigma_{fless,med}$ [kg/cm ²] Tensione massima a flessione	 $\sigma_{comp,med}$ [kg/cm ²] Tensione massima a compressione
	A1	187,5	477,2	438,9
	A2	218,2	545,2	468,9
	A3	92,0	844,3	506,1
	A4	226,1	696,1	489,4
	A5	298,7	/	/

Tab. 6.32 Quadro riepilogativo dei risultati dei provini del gruppo A

Come mostrato in tabella:

- i pannelli lignei del sotto-gruppo **A1**, caricati di punta, hanno raggiunto l'instabilità euleriana ad una tensione critica media di circa 187,5 kg/cm². Le tavole in legno strutturale, estratte dai pannelli, hanno raggiunto una tensione da flessione media pari a circa 477,2 kg/cm². Dalle tavole si sono estratti i provini di legno netto. Questi ultimi hanno raggiunto una tensione media dovuta alla compressione pari a circa 438,9 kg/cm²;
- i pannelli lignei del sotto-gruppo **A2**, caricati di punta, hanno raggiunto l'instabilità euleriana ad una tensione critica media di circa 218,2 kg/cm². Le tavole in legno

strutturale, estratte dai pannelli, hanno raggiunto una tensione da flessione media pari a circa 545,2 kg/cm². Dalle tavole si sono estratti i provini di legno netto. Questi ultimi hanno raggiunto una tensione media dovuta alla compressione pari a circa 468,9 kg/cm²;

- il pannello ligneo del sotto-gruppo **A3**, caricato di punta, ha raggiunto l'instabilità euleriana ad una tensione critica di circa 92 kg/cm². La tavola in legno strutturale, estratta dal pannello, ha raggiunto una tensione da flessione pari a circa 844,3 kg/cm². Dalla tavole si sono estratti i provini di legno netto. Questi ultimi hanno raggiunto una tensione media dovuta alla compressione pari a circa 468,9 kg/cm²;
- il pannello ligneo del sotto-gruppo **A4**, caricato di punta, ha raggiunto l'instabilità euleriana ad una tensione critica di circa 226,1 kg/cm². La tavola in legno strutturale, estratta dal pannello, ha raggiunto una tensione da flessione pari a circa 696,1 kg/cm². Dalla tavola si sono estratti i provini di legno netto. Questi ultimi hanno raggiunto una tensione media dovuta alla compressione pari a circa 489,4 kg/cm²;
- il pannello ligneo del sotto-gruppo **A5**, caricato di punta, ha raggiunto l'instabilità euleriana ad una tensione critica di circa 298,7 kg/cm². Da quest'ultimo per motivi tecnici non sono stati estratti né la tavola e nemmeno i provini di legno netto.

CAPITOLO 7

PROVE SPERIMENTALI SU PARETI SOGGETTE A FORZE ORIZZONTALI

7.1. Introduzione al sistema parete

Tutte le prove sperimentali, di cui al capitolo 5, sono state effettuate con l'obiettivo di valutare le prestazioni fornite dalla parete POREPAN per un suo possibile impiego nella realizzazione di edifici in legno, sostituendosi al sistema che prevede l'utilizzo di pannelli X-LAM.

La parete completa si presenta come riportato nella figura sottostante (Fig. 7.1)

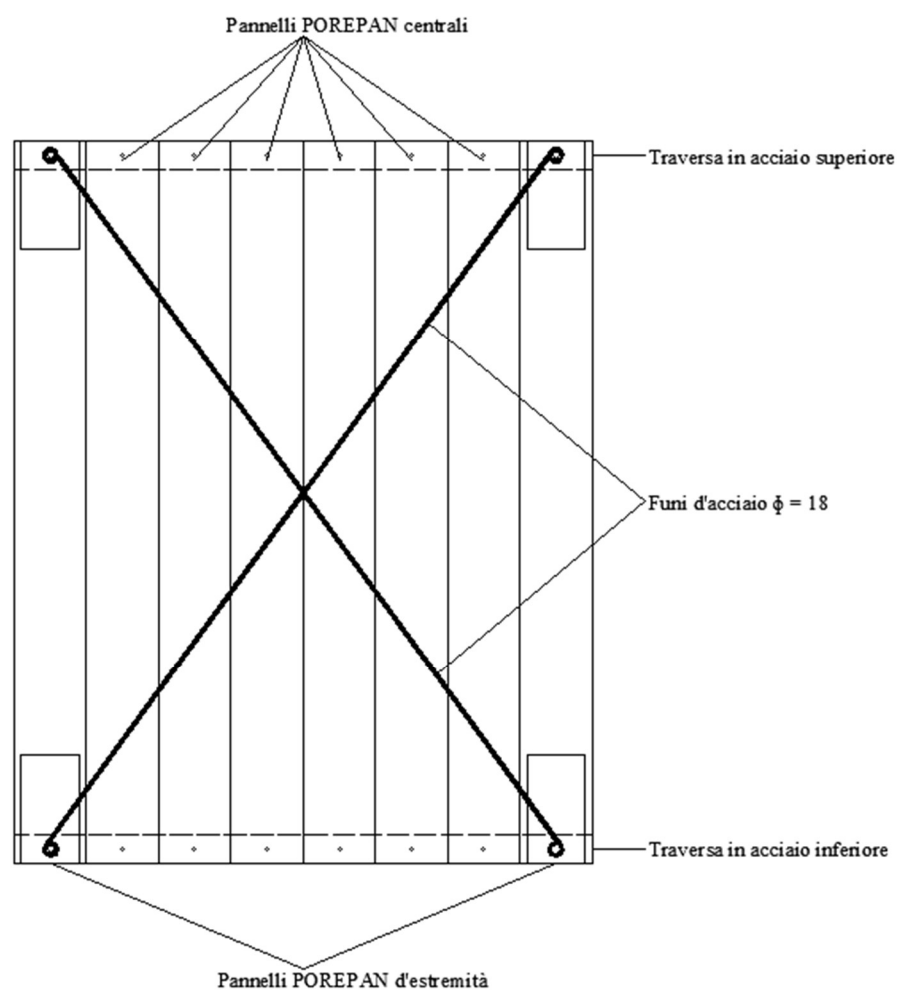


Fig. 7.1 Prospetto parete POREPAN

Di seguito la parete verrà analizzata sia dal punto di vista tecnologico che strutturale, riportando infine analisi e considerazioni relative le prove sperimentali effettuate presso il laboratorio del Di.St. Prima di procedere, però, si ricorda che i pannelli POREPAN sono dei pannelli portanti lignei ad elevato isolamento termico per coperture e pareti, costituiti da doppio tavolato con interposto isolante termico in polistirene espanso monostrato “EPS”.

Gli elementi costituenti la parete sono divisi in:

- pannelli POREPAN centrali e di estremità;

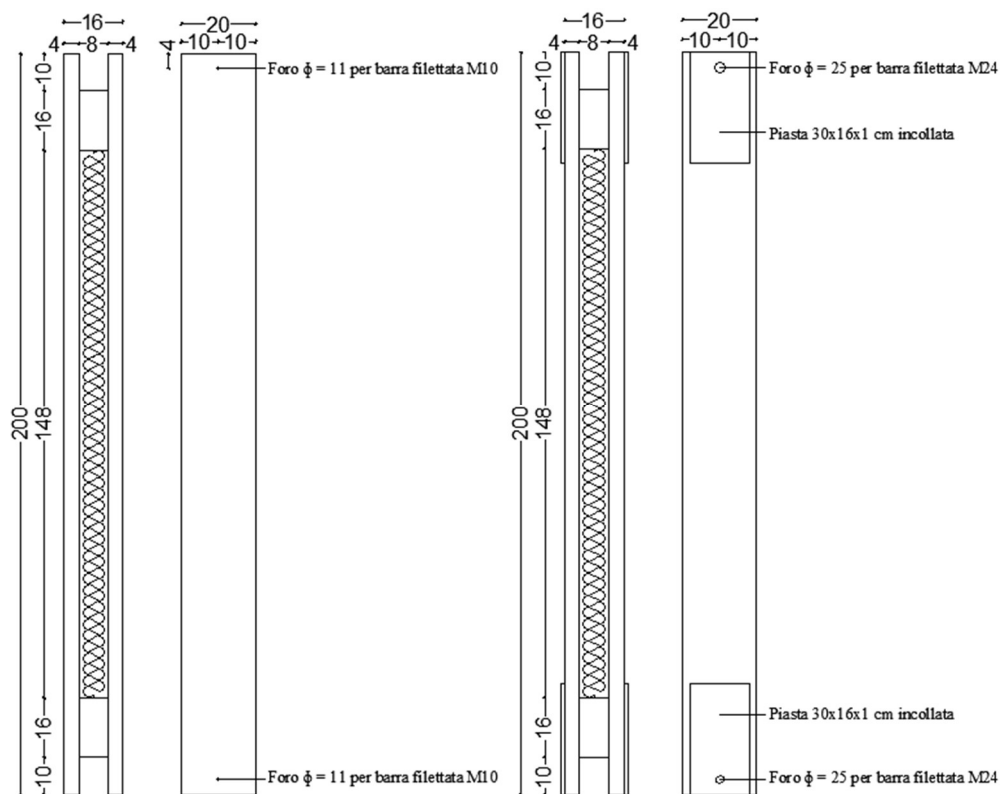


Fig. 7.2 pannelli POREPAN centrali sulla sinistra e di estremità sulla destra

- traverse di collegamento, superiore e inferiore, in acciaio;

BASE

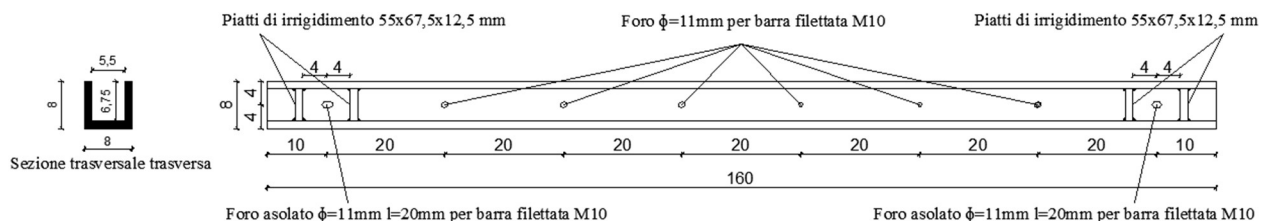


Fig. 7.3 Traversa di collegamento: base

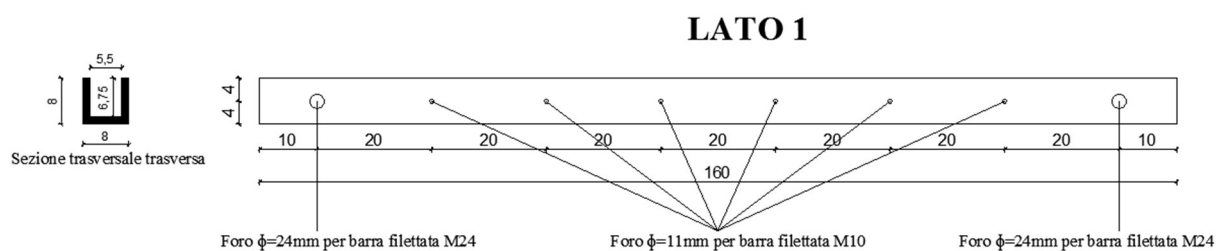


Fig. 7.4 Traversa di collegamento: Lato 1

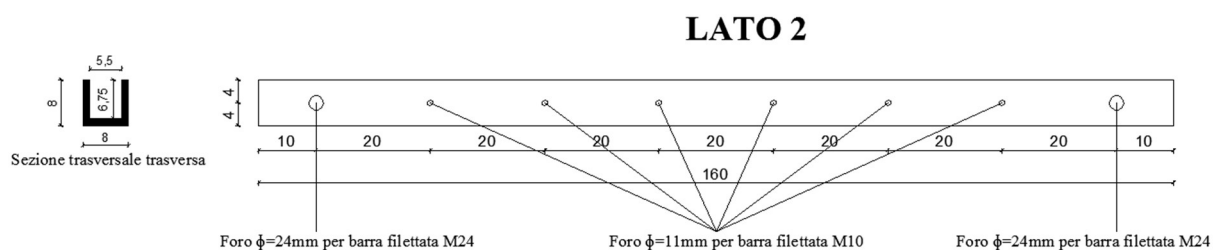


Fig. 7.5 Traversa di collegamento: Lato 2

- barre filettate M10, $L=20\text{ cm}$;
- barre filettate M24, $L=35\text{ cm}$;
- bulloni M10, $L=10\text{ cm}$;
- funi in acciaio $\phi 18$.

Si ricorda che le pareti testate sono alte 2 metri a causa di esigenze tecniche di laboratorio, di conseguenza tutti gli elementi utilizzati sono stati realizzati in funzione di ciò. Tuttavia è possibile modificare le dimensioni geometriche in funzione delle esigenze specifiche di ogni progettazione ex-novo, fermo restando tutto ciò che si dirà di seguito.

7.2. Sistema parete POREPAN: aspetto tecnologico

La parete nasce dall'accoppiamento degli elementi sopra elencati nel seguente modo:

- **Fase 1:** *posizionamento e fissaggio della traversa inferiore.* Prima di porre in opera i vari pannelli che costituiranno la parete, è necessario fissare la traversa ad un piano stabile. Tale operazione consentirà di fissare saldamente a terra anche la parete. A tal proposito, la traversa d'acciaio inferiore viene fissata ad una superficie d'appoggio, uno scatolare cavo in acciaio in dotazione presso il laboratorio del Di.St (Fig. 7.6), tramite dei bulloni M10 inseriti in fori $\phi 11$ che ne evitano lo slittamento.

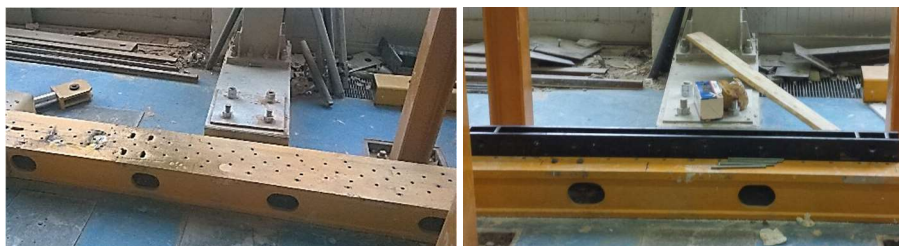


Fig. 7.6 Scatolare cavo in acciaio e traversa fissata

Fanno eccezione i due bulloni di estremità che sono inseriti in fori asolati, la cui funzione è spiegata nel paragrafo successivo. Nonostante ciò tutti i bulloni realizzano il collegamento con la fondazione o con il livello superiore, infatti:

- in corrispondenza del piano di fondazione, questi servono a garantire il collegamento parete – fondazione, allo stesso modo dei tirafondi nelle strutture in acciaio, secondo lo schema indicato in Fig. 7.7;

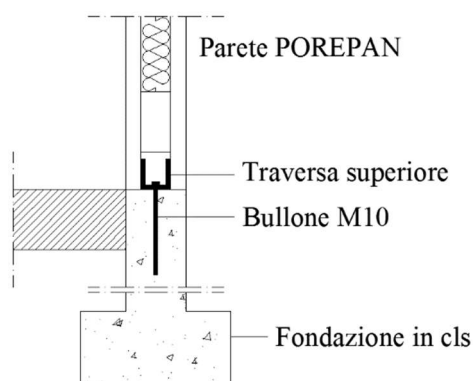


Fig. 7.7 Schema semplificato di collegamento Parete – Fondazione

- a quota solaio, questi servono a garantire il collegamento tra i vari pannelli secondo lo schema indicato in Fig. 7.8;

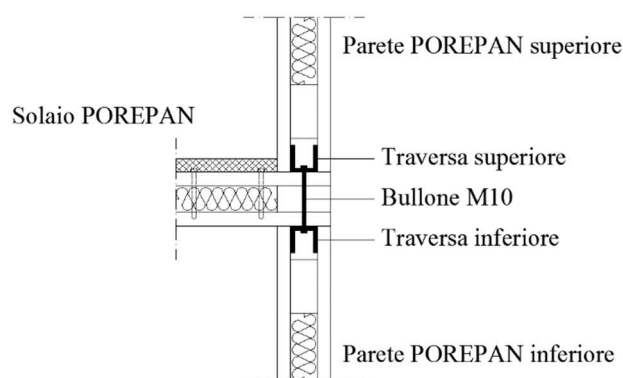


Fig. 7.8 Schema semplificato di collegamento Parete – Solaio - Parete

Si vuole precisare che durante le prove la fondazione è rappresentata dallo scatolare cavo in acciaio su cui è fissata la traversa inferiore, data l'impossibilità tecnica di realizzare una fondazione in calcestruzzo.

- Fase 2:** *posizionamento e fissaggio dei pannelli POREPAN*. I pannelli semplicemente accostati tra loro devono essere vincolati al fine di garantire il funzionamento a “parete”. A tal proposito gli stessi alle due estremità, inferiore e superiore, sono sagomati in modo da permettere l'inserimento delle due traverse d'acciaio ad “U” forate su tutti i lati ad un passo corrispondente all'interasse dei pannelli. Tale sagomatura ha insita in sé un ulteriore vantaggio: proteggere le parti in acciaio nell'ottica di una futura verifica al fuoco. A questo punto i pannelli vengono resi solidali con la traversa inferiore tramite barre filettate M10 che inserite in fori ϕ 11 e disposte ortogonalmente all'asse del pannello lo attraversano insieme alla traversa. Fanno eccezione il primo e l'ultimo pannello per i quali sono stati realizzati fori ϕ 25 che permettono il passaggio di barre filettate di diametro maggiore, M24. Il motivo di tale scelta trova spiegazione nelle maggiori sollecitazioni a cui sono sottoposte quest'ultime sotto azioni orizzontali, dato che devono assorbire tutto il tagliante di piano e trasferirlo alle diagonali.

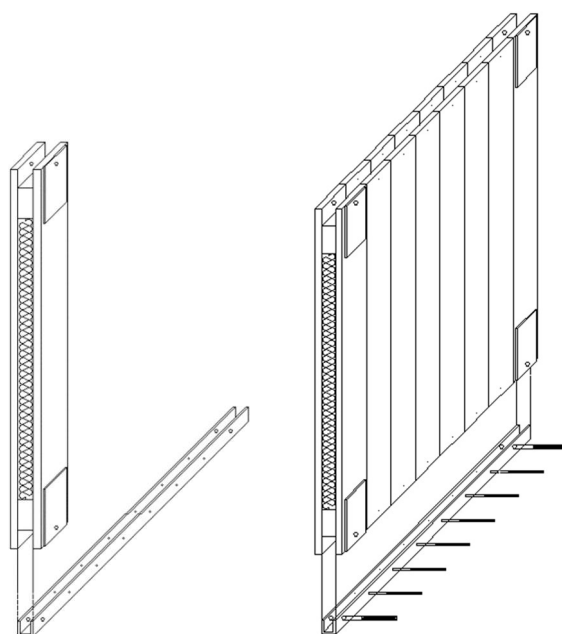


Fig. 7.9 Schema di montaggio pannello e fissaggio con barre filettate



Fig. 7.10 Montaggio pannelli

- **Fase 3:** *posizionamento e fissaggio della traversa superiore*. A questo punto si fissa la traversa superiore che, insieme a quella inferiore, serve a far collaborare tutti i pannelli. Il fissaggio con quest'ultimi avviene in maniera analoga a quanto specificato nella parte finale della fase precedente (Fig. 7.11).

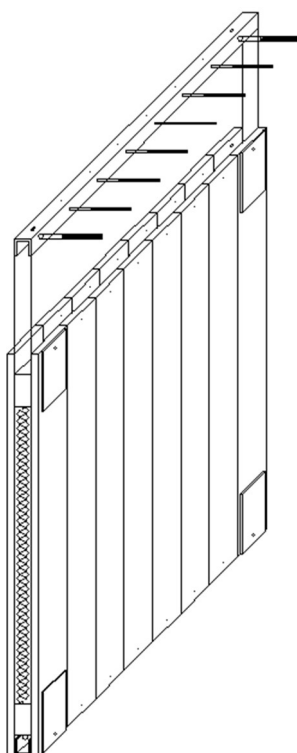


Fig. 7.11 Schema di montaggio parete *Fase 3*

L'accorgimento che caratterizza questa fase, distinguendola dalle altre, risiede nel tipo di collegamento realizzato con ciò che si trova al di sopra della parete stessa. Nel caso in esame la traversa d'acciaio ad "U" viene resa collaborante con un'ulteriore traversa d'acciaio, già descritta nel cap.3, che durante le prove ha simulato la presenza di forze statiche orizzontali equivalenti al sisma.

Volendo rapportare il tutto al caso reale di un edificio, questa sarebbe collegata con i pannelli costituenti la parete superiore secondo lo schema indicato in precedenza (Fig. 7.8), oppure sarebbe collegata con il solaio di copertura (Fig. 7.12):

Solaio POREPAN - copertura

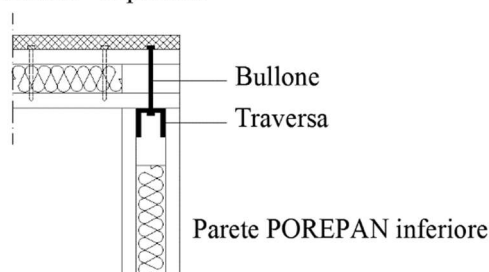


Fig. 7.12 Schema di un possibile collegamento tra solaio di copertura e parete

- **Fase 4 – controventi.** A questo punto la parete è ben ancorata e riesce a sostenere il proprio peso e quello dei carichi verticali. Per completare il sistema, si inseriscono i

cavi d'acciaio che servono a controventarla, rendendola capace di resistere anche ad azioni orizzontali (Fig. 7.13).

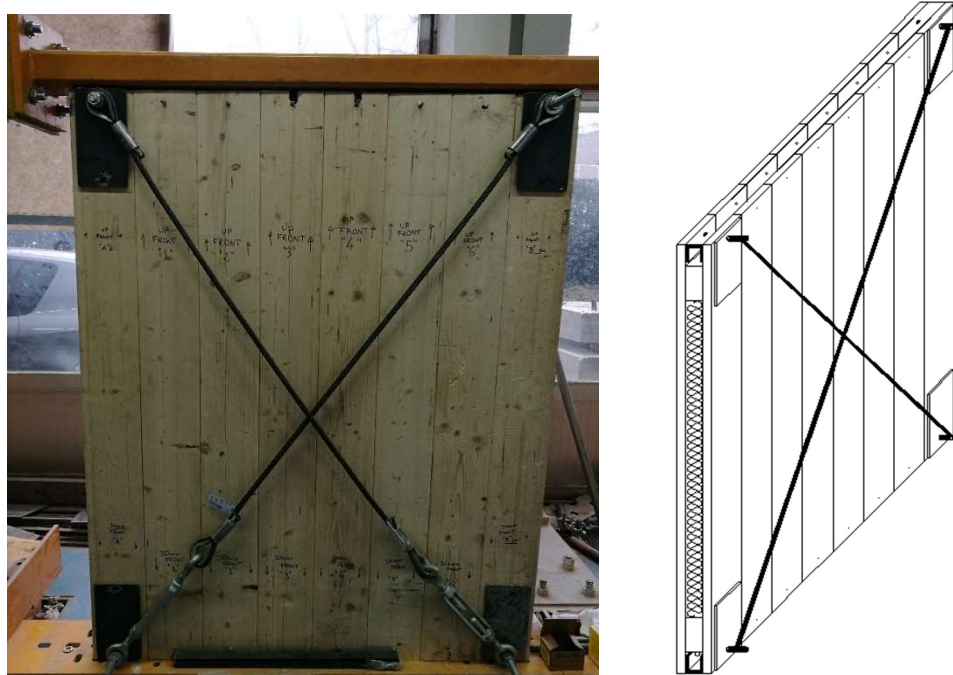


Fig. 7.13 Fase 4: Parete completa con schema

È bene precisare che nell'ottica di un edificio realizzato completamente con pannelli POREPAN, questi cavi non saranno presenti lungo tutte le parti, bensì solo su alcune campate, proprio alla stregua di un edificio in acciaio con controventi (Fig. 7.14).

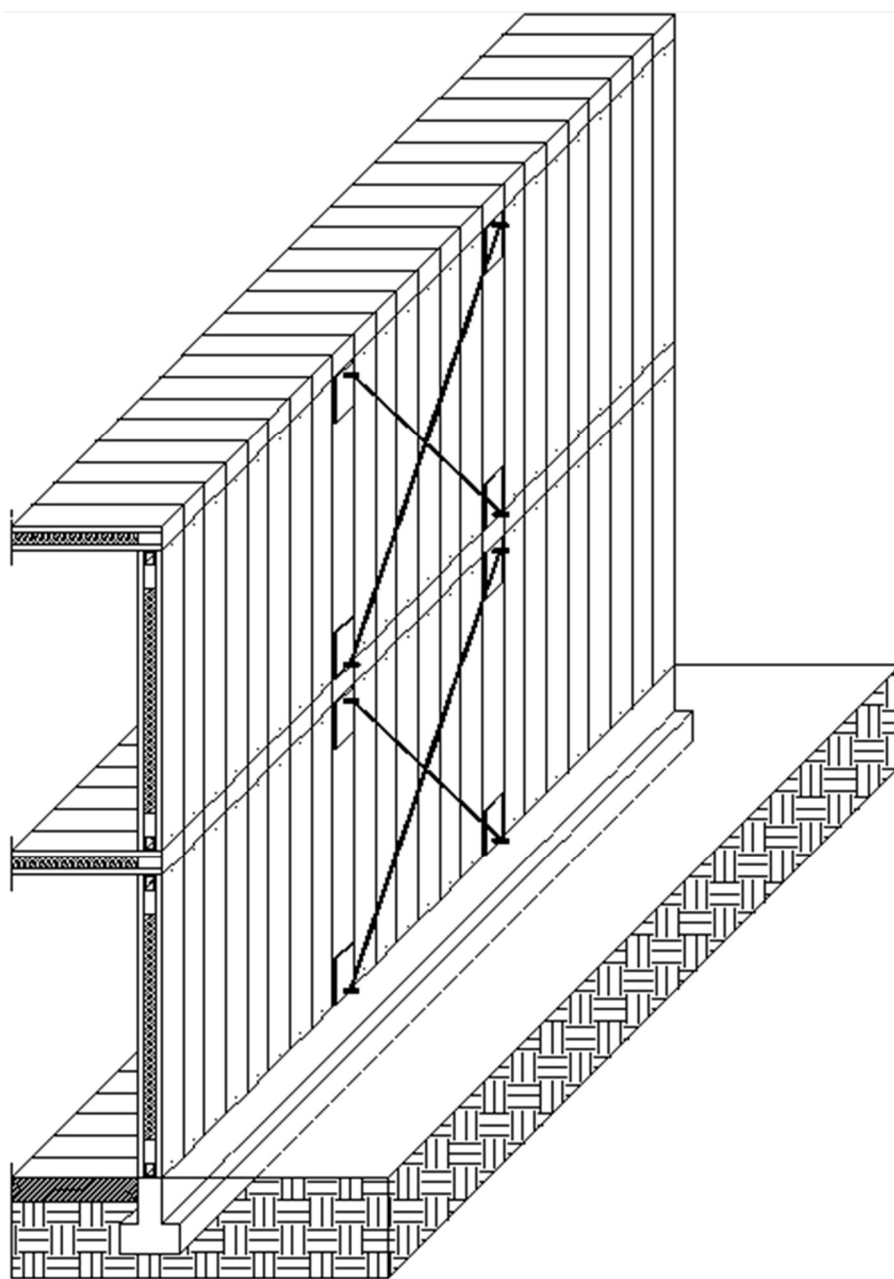


Fig. 7.14 Assonometria porzione di parete perimetrale edificio POREPAN

7.3. Sistema parete POREPAN: aspetto strutturale

L'obiettivo che si sta analizzando nel seguente paragrafo è quello di valutare le prestazioni del sistema parete POREPAN. La parete così come è realizzata deve essere in grado di resistere sia ai carichi gravitazionali che alle azioni orizzontali rappresentanti un evento sismico, il tutto danneggiandosi in una porzione limitata della stessa. Quest'ultima è individuata nella zona di attacco bullone M10 – traversa, con il bullone che, tramite formazione di una cerniera plastica a trazione, assicura un certo grado di duttilità all'intero sistema e diviene l'unico elemento fusibile lasciando tutti gli altri elementi in campo elastico.

Questo principio comporta una serie di vantaggi, quali:

- assenza di interventi sui pannelli POREPAN;
- elevata reperibilità degli elementi da sostituire;
- elevata velocità dell'intervento di riparazione;
- basso tempo di inutilizzo della parete;
- bassi costi di intervento.

Di seguito si discuterà prima del funzionamento sotto carichi gravitazionali, poi sotto forze orizzontali ed infine di tutti gli accorgimenti necessari affinché il meccanismo di collasso sia quello voluto e si manifesti nella zona sopra indicata.

7.3.1. Funzionamento parete POREPAN sotto carichi gravitazionali

Gli elementi che hanno il compito di fornire adeguata resistenza e rigidità ai carichi verticali sono i pannelli POREPAN tenuti insieme dalle traverse d'acciaio che, come mostrato nel capitolo 4 relativo allo stato dell'arte, hanno valori di tensioni critiche variabili da 180 a 220 kg/cm². Nonostante ciò, è stata effettuata una doppia analisi dei carichi, al fine di determinare il tasso di lavoro dei singoli pannelli, nell'ottica della realizzazione di un edificio con solai tradizionali, *caso 1*, e con solai alleggeriti, *caso 2*:

- **Solaio tradizionale - caso 1:** il solaio è realizzato tramite pannelli POREPAN dello spessore di 16 cm su cui viene effettuato un getto di calcestruzzo alleggerito con cui viene reso solidale tramite connettori in acciaio. I carichi permanenti non strutturali che gravano su questo tipo di solaio sono massetto, controsoffitto, pavimento in mattonelle e tramezzi in laterizio. I sovraccarichi q_k per un ambiente ad uso residenziale (categoria A) sono quelli previsti da normativa e pari a 200 kg/m²;
- **Solaio alleggerito - caso 2:** il solaio è realizzato tramite pannelli POREPAN dello spessore di 16 cm su cui viene effettuato un getto di calcestruzzo alleggerito con cui viene reso solidale tramite connettori in acciaio. I carichi permanenti non strutturali

che gravano su questo tipo di solaio sono massetto, controsoffitto, pavimento galleggiante e tramezzi in cartongesso. I sovraccarichi q_k per un ambiente ad uso residenziale (categoria A) sono quelli previsti da normativa e pari a 200 kg/m^2 ;

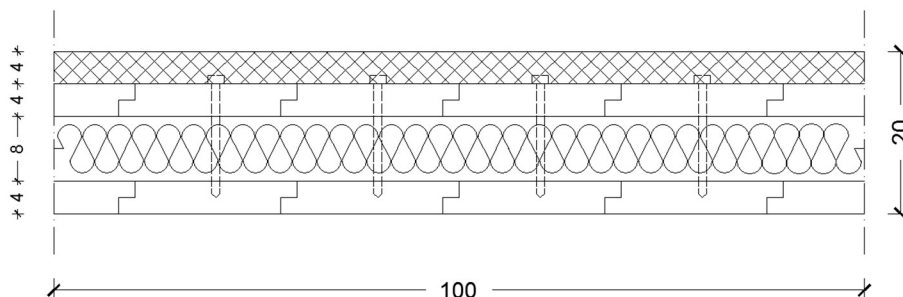


Fig. 7.15 Sezione trasversale di un metro di solaio Porepan: pannelli con soletta collaborante in cls

Dall'analisi dei carichi di una striscia di solaio si ottiene:

CASO 1: SOLAIO TRADIZIONALE

Carichi permanenti strutturali G_1					
Elemento	n°	Base [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kg/m³]	Totale [kg/m²]
Soletta in cls alleggerito con connettori $\phi 10$	/	1,00	0,04	1650	66,00
Tavola	2	1,00	0,04	350	28,00
Eps	/	1,00	0,08	30	2,40
					96,40

Tab. 7.1 analisi dei carichi permanenti strutturali – solaio tradizionale

CASO 1: SOLAIO TRADIZIONALE

Carichi permanenti non strutturali G_2					
Elemento	n°	Base [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kg/m³]	Totale [kg/m²]
Pavimento	/				50,00
Massetto	/	1,00	0,03	200	60,00
Controsoffitto	/				10,00
Incidenza tramezzi	/				100,00
					220,00

Tab. 7.2 analisi dei carichi permanenti non strutturali – solaio tradizionale

CASO 2: SOLAIO ALLEGGERITO

Carichi permanenti strutturali G_1					
Elemento	n°	Base [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kg/m³]	Totale [kg/m²]
Soletta in cls alleggerito con connettori $\phi 10$	/	1,00	0,04	1650	66,00
Tavola	2	1,00	0,04	350	28,00
Eps	/	1,00	0,08	30	2,40
					96,40

Tab. 7.3 analisi dei carichi permanenti strutturali – solaio alleggerito

CASO 2: SOLAIO ALLEGGERITO

Carichi permanenti non strutturali G_2					
Elemento	n°	Base [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kg/m³]	Totale [kg/m²]
Pavimento	/				20,00
Massetto	/	1,00	0,03	200	60,00
Controsoffitto	/				10,00
Incidenza tramezzi	/				30,00
					120,00

Tab. 7.4 analisi dei carichi permanenti non strutturali – solaio alleggerito

Il peso totale di un metro di solaio POREPAN dato dalla somma $G_1 + G_2$ è pari a:

- Caso 1: 316,40 kg/m²;
- Caso 2: 216,40 kg/m².

I sovraccarichi q_k per un ambiente ad uso residenziale (categoria A) previsti dall'attuale normativa sono pari a 200 kg/m².

Le combinazioni di carico allo SLU e allo SLE in condizione frequente si ottengono considerando i seguenti coefficienti:

$$q_{SLU, NTC08, caso\ 1} = 1,3 \times G_1 + 1,5 \times G_2 + 1,5 \times Q_k = 7,41 \text{ kN/m}^2 = 755,45 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{SLE, NTC08, caso\ 1} = G_1 + G_2 + 0,3 \times Q_k = 4,16 \text{ kN/m}^2 = 376,40 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{SLU, NTC08, caso\ 2} = 1,3 \times G_1 + 1,5 \times G_2 + 1,5 \times Q_k = 7,41 \text{ kN/m}^2 = 605,32 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{SLE, NTC08, caso\ 2} = G_1 + G_2 + 0,3 \times Q_k = 4,16 \text{ kN/m}^2 = 276,40 \text{ kg/m}^2$$

Moltiplicando per l'interasse tra le pareti, pari a 4,5 m, si ottiene:

$$q_{SLU, NTC08, caso\ 1} = 755,45 \text{ kg/m}^2 \times 4,5 \text{ m} = 3399,52 \text{ kg/m}$$

$$q_{SLE, NTC08, caso\ 1} = 376,40 \text{ kg/m}^2 \times 4,5 \text{ m} = 1693,80 \text{ kg/m}$$

$$q_{SLU, NTC08, caso\ 2} = 605,32 \text{ kg/m}^2 \times 4,5 \text{ m} = 2723,94 \text{ kg/m}$$

$$q_{SLE, NTC08, caso\ 2} = 276,40 \text{ kg/m}^2 \times 4,5 \text{ m} = 1243,80 \text{ kg/m}$$

Ai carichi sopra indicati bisogna aggiungere il peso proprio della parete, uguale per il *caso 1* e per il *caso 2*:

Peso proprio parete - G_1					
Elemento	n°	Altezza [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kg/m³]	Totale [kg/m]
Pannello	2	3,00	0,04	350	84,00

Eps	/	3,00	0,08	30	<u>7,2</u>
					<u>91,20</u>

Ne segue che il carico complessivo a metro lineare è:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{SLU,NTC08,caso 1}} &= 3399,52 \text{ kg/m} + 1,3 \times 91,20 \text{ kg/m} = 3518,08 \text{ kg/m} \\
 q_{\text{SLE,NTC08,caso 1}} &= 1693,80 \text{ kg/m} + 1,3 \times 91,20 \text{ kg/m} = 1812,36 \text{ kg/m} \\
 q_{\text{SLU,NTC08,caso 2}} &= 2723,94 \text{ kg/m} + 1,3 \times 91,20 \text{ kg/m} = 2842,5 \text{ kg/m} \\
 q_{\text{SLE,NTC08,caso 2}} &= 1243,80 \text{ kg/m} + 1,3 \times 91,20 \text{ kg/m} = 1362,36 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Dividendo per l'area di legno presente in un metro di parete, 800 cm^2 , si ottiene la tensione di compressione parallela alle fibre agente nel singolo pannello:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{SLU,NTC08,caso 1}} &= 4,40 \text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_{\text{SLE,NTC08,caso 1}} &= 2,26 \text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_{\text{SLU,NTC08,caso 2}} &= 3,55 \text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_{\text{SLE,NTC08,caso 2}} &= 1,70 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Risulta ovvio che questi valori sono direttamente proporzionali al numero di piani che si vuole realizzare, fermo restando che problemi legati all'instabilità sono del tutto trascurabili dal momento che come già detto più volte le tensioni critiche di instabilità oscillano tra i 180 e i 220 kg/cm^2 , valori 40 - 100 volte più grandi.

Con il valore delle tensioni appena calcolate e noto quello di instabilità si potrebbe determinare, tramite un semplice rapporto, il numero massimo di piani che è possibile realizzare. Il limite però è dato dal raggiungimento della resistenza a compressione ortogonale, direzione lungo la quale il legno presenta resistenze minori, a causa di un aspetto tecnologico: il collegamento tra parete e solaio che provocherebbe uno schiacciamento dei pannelli lignei costituenti il solaio stesso.

Ne consegue che il numero dei piani che è possibile realizzare, nel *caso 1*, diminuisce drasticamente fino ad un numero pari al rapporto tra:

$$\frac{f_{c,90,d}}{\sigma_{\text{SLU,d}}} = \frac{25 \times 0,75}{4,40} = 2,84$$

Nel *caso 2*, invece, il numero di piani è pari a:

$$\frac{f_{c,90,d}}{\sigma_{SLU,d}} = \frac{25 \times 0,75}{\frac{1,5}{3,55}} = 3,52$$

Al denominatore è stato posto il valore più alto delle tensioni raggiungibili tra lo S.L.U. e S.L.E. altrimenti le relative verifiche del caso non risulterebbero soddisfatte in fase di progettazione.

Il valore 0,75 è adimensionale ed è il valore assunto da k_{mod} , coefficiente diminutivo della resistenza del legno in funzione della classe di servizio e della durata di applicazione dei carichi. Nel caso in esame è stato posto:

- classe di servizio 2;
- durata di applicazione del carico: valore medio tra “permanente”, relativo allo SLU, e “breve”, relativo al periodo in cui l’edificio sarà soggetto ad azioni sismiche.

Il valore 25 è la resistenza caratteristica a compressione ortogonale, per un C24, espressa in kg/cm².

Il valore 1,5 è adimensionale ed è il fattore di sicurezza riduttivo delle proprietà del materiale. Per tutti i valori indicati si è fatto riferimento alle indicazioni riportate nelle CNR.

E’ possibile a questo punto determinare il tasso di lavoro dei singoli pannelli sia allo stato limite ultimo che allo stato limite di esercizio:

Solaio *CASO 1*

Tasso di lavoro	$\sigma_{1 \text{ piano}}/\sigma_{lim,90}$	$\sigma_{2 \text{ piani}}/\sigma_{lim,90}$	$\sigma_{3 \text{ piani}}/\sigma_{lim,90}$
S.L.U.	0,35	0,70	1,06
S.L.E.	0,18	0,36	0,54

Tab. 7.5 Tassi di lavoro solaio tradizionale

Solaio *CASO 2*

Tasso di lavoro	$\sigma_{1 \text{ piano}}/\sigma_{lim,90}$	$\sigma_{2 \text{ piani}}/\sigma_{lim,90}$	$\sigma_{3 \text{ piani}}/\sigma_{lim,90}$
S.L.U.	0,28	0,57	0,85
S.L.E.	0,14	0,27	0,41

Tab. 7.6 tassi di lavoro solaio alleggerito

Dai dati sopra riportati sembrerebbe che nel caso di solai tradizionali non è possibile realizzare tre piani, ma dal momento che nel legno in direzione ortogonale alla fibratura è possibile godere di un incremento di resistenza grazie all’effetto timbro, basterà dimensionare in maniera opportuna l’area d’impronta su cui si diffondono le tensioni per riportare il tasso di lavoro al di sotto dell’unità.

7.3.2. Funzionamento parete POREPAN sotto azioni orizzontali

Il funzionamento sotto azioni orizzontali è più complesso ed ogni elemento che costituisce la parete ha un ruolo differente:

- le funi in acciaio rendono la parete capace di resistere ad azioni orizzontali, conferendole rigidità laterale;
- le traverse hanno il compito di trasferire la forza di piano alle funi in acciaio e far collaborare tutti i pannelli POREPAN;
- i bulloni inseriti nei fori asolati non lavorano a taglio, ma assorbono lo sforzo di trazione indotto dal ΔN generato a sua volta dal momento ribaltante che sollecita la parete, $M_{rib} = F \times H$. I suddetti bulloni sono gli unici elementi fusibili di tutta la parete che devono plasticizzarsi;
- lo sforzo di compressione è assorbito dai pannelli lignei che entrano in contatto con il supporto sottostante;
- gli altri bulloni che collegano la traversa al supporto hanno il compito di fissarla, evitarne il suo slittamento e trasferire, insieme ai due di estremità, le sollecitazioni alla fondazione;
- le barre filettate garantiscono il collegamento tra i pannelli POREPAN e le traverse d'acciaio ad "U".

Si vuole precisare che i bulloni che serrano la traversa a "U" allo scatolare cavo in acciaio, o ad un qualunque altro tipo di sistema di attacco parete – fondazione, alla stregua di quanto accade per i due inseriti nei fori asolati, non sono sollecitati da sforzi di compressione, sia per carichi verticali che orizzontali, in quanto il trasferimento delle sollecitazioni di compressione avviene per contatto del legno.

Come già detto in precedenza, la parete è stata realizzata in modo che, durante le prove sperimentali e le condizioni in esercizio, tutti gli elementi rimangano in campo elastico ad eccezione dei bulloni di estremità, unici fusibili di tutto il sistema. Fissato e reso noto l'obiettivo che si vuole perseguire, sono stati dimensionati i vari elementi costituenti la parete ad eccezione dei pannelli POREPAN, sagomati in funzione delle dimensioni delle macchine disponibili presso il laboratorio del Di.St., ma di cui si avevano tutte le informazioni del caso. Il procedimento adottato per il dimensionamento dei componenti è di seguito descritto.

Posto che il bullone utilizzato è un M10 8.8, la sua resistenza massima a trazione caratteristica è pari a 3840 kg. Ipotezzando che tutto lo sforzo appena calcolato si trasferisca attraverso la piastra a cui sono agganciate le funi d'acciaio, sono state calcolate le aree di impronta al fine di realizzare il collegamento incollato piastra – legno, utilizzando come resistenza massima

quella della colla testata, la LOCTITE HY 4090. Dal calcolo fuoriesce un'area di impronta pari a circa 160 cm^2 , modificata poi a 480 cm^2 , in modo da evitare eventuali problemi dovuti al distacco della piastra dal supporto. Le funi d'acciaio sono state dimensionate in maniera decisamente sovrabbondante rispetto al carico della prova, con resistenza ultima dichiarata dal produttore pari a 16000 kg ciascuna. Infine sono state aggiunte le barre filettate per collegare i pannelli alle traverse.

7.4. Sistema “Parete POREPAN” e *capacity design*

In base a quanto appena detto risulta chiaro il fine ultimo che si intende perseguire: definire una gerarchia tra tutti gli elementi costituenti la parete. L'obiettivo, infatti, è quello di aprire le porte ad un nuovo sistema strutturale individuandone il modello teorico che possa essere utilizzato nella comune progettazione alla stregua delle indicazioni riportate nei capitoli relativi alla progettazione delle costruzioni sotto azioni sismiche, indicate nelle N.T.C. o negli Eurocodici. In parole più semplici lo scopo è di applicare il principio del *capacity design* alla progettazione di pareti POREPAN nell'ottica della realizzazione di un intero edificio con pannelli di questo tipo.

7.4.1. Capacity design

L'idea base del *capacity design*, o gerarchia delle resistenze che dir si voglia, nasce dalla constatazione che progettare costruzioni per farle rimanere in campo elastico, senza alcun livello di danno, porterebbe alla realizzazione di elementi strutturali decisamente grossi. Pertanto, tale filosofia conduce il progettista alla realizzazione di strutture che devono sì danneggiarsi, ma in maniera opportuna evitando al contempo il crollo dell'edificio e garantendo la salvaguardia della vita umana, obiettivo cardine da perseguire.

Tali obiettivi vengono raggiunti tramite un'accurata progettazione basata sulla riduzione delle forze sismiche agenti sulle costruzioni per mezzo di un fattore “*q*”, *fattore di struttura*, che tiene conto della capacità dissipativa della struttura che varia al variare del sistema strutturale e del materiale da costruzione adottati. A questo punto, piuttosto che condurre analisi non lineari per investigare il comportamento inelastico della costruzione, si conducono analisi lineari, statiche o dinamiche che si voglia, e con i loro risultati si progettano gli elementi definiti “*fusibili*” o “*deboli*”. A tali elementi è affidato il compito di dissipare l'energia che investe la costruzione durante un evento sismico tramite formazione di cerniere plastiche nelle zone individuate dal progettista. Tutti gli altri elementi, definiti “*forti*”, non vengono dimensionati con le sollecitazioni derivanti dalle analisi, ma a partire dalle resistenze ultime degli elementi deboli opportunamente incrementate tramite fattori che tengono conto della sovrarresistenza dei

materiali e dei possibili meccanismi di collasso che potrebbero presentarsi. Così facendo, se per assurdo si confrontassero due strutture in termini di spostamenti ultimi raggiunti, una progettata seguendo i principi del capacity design e l'altra progettata per rimanere in campo elastico, si osserverebbe che gli spostamenti ultimi sono uguali.

In via del tutto semplificata quanto appena detto è racchiusa nella figura sottostante:

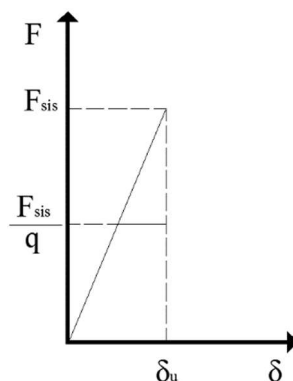


Fig. 7.16 Diagramma F - δ

Al fine di garantire il meccanismo di collasso voluto è importante focalizzare l'attenzione nel momento in cui la parete è soggetta ad azioni orizzontali, in quanto è proprio in questa fase che il meccanismo descritto in precedenza deve effettivamente manifestarsi.

Nonostante la parete POREPAN è costituita da tanti pannelli accostati l'uno all'altro, se la si considera come un unico blocco e al contempo si focalizza l'attenzione sul suo ribaltamento, possono presentarsi due casi in funzione della quota a cui ci si trova e del tipo di collegamento realizzato:

- *caso 1*: semplice ribaltamento della parete (base rigida e snervamento del bullone) Fig. 6.17:

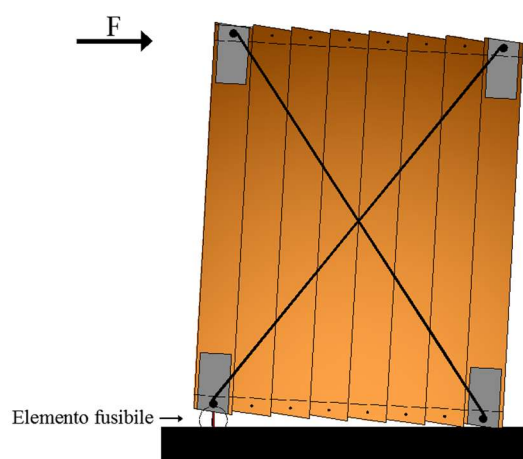


Fig. 7.17 Schema di semplice ribaltamento della parete

- *caso 2*: ribaltamento della parete con schiacciamento del legno in direzione ortogonale alle fibre, (base deformabile e snervamento del bullone) Fig. 6.18:

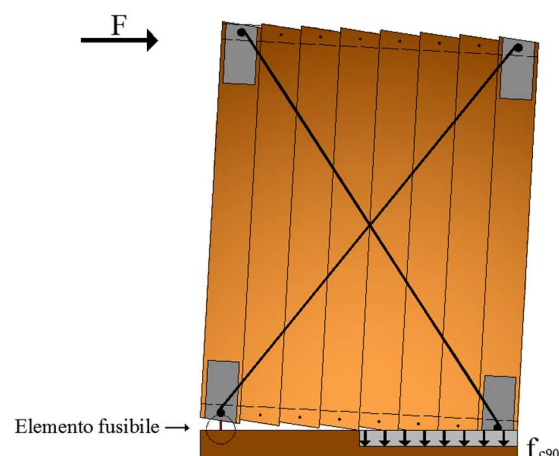


Fig. 7.18 Schema di semplice ribaltamento della parete con compressione ortogonale alle fibre

E' importante spendere qualche parola per questi due casi in quanto il loro manifestarsi potrebbe modificare il modo in cui si danneggia la parete, discostandosi quindi da quanto detto finora in merito la duttilità del sistema, garantita dalla sola plasticizzazione del bullone.

A tal proposito, nel seguito, per ogni caso individuato dalle due figure precedenti, si daranno indicazioni riguardanti i possibili fenomeni di crisi che potrebbero presentarsi e che devono essere evitati, definendone, laddove possibile, una gerarchia.

Caso 1: Collegamento parete e fondazione

Dal momento che la parete non poggia su alcun dormiente in legno per cui non vi è pericolo né di plasticizzazione in direzione ortogonale alla fibratura, né tantomeno di strappo a causa di tensioni di trazione ortogonale, l'unica plasticizzazione che può presentarsi e che si desidera, quando la parete inizia a ribaltarsi, è quella per trazione del bullone inserito nel foro asolato. In questo caso si vuole che tutta la duttilità del sistema provenga dallo snervamento del bullone, ma per garantire ciò vi sono vari aspetti da tenere sotto controllo.

Quando la parete è sollecitata da azioni orizzontali, le funi iniziano a lavorare. Queste, essendo agganciate alla barra filettata M24 sollecitano non solo quest'ultima, ma anche la colla, che garantisce l'aderenza tra la piastra d'acciaio e pannello POREPAN d'estremità, oltre che il bullone inserito nel foro asolato. Col crescere delle forze orizzontali, in particolare quando il momento ribaltante supera il momento stabilizzante, la parete inizia a ribaltarsi e a ruotare rigidamente con uno scorrimento tra i vari pannelli. Dal momento che è fissata a terra solo tramite i bulloni che ancorano la traversa alla fondazione, è possibile che la stessa tenda ad inflettersi con conseguente nascita di sollecitazioni flettenti e taglianti. Ciò comporta che i bulloni – tirafondi sono tutti sollecitati, ma in maniera differente: il primo solo a trazione, tutti gli altri a taglio. Lo sforzo di trazione non viene trasferito anche ai bulloni intermedi dal momento che il modo in cui sono agganciati alla traversa non permette il trasferimento di tale

sollecitazione. Infine i pannelli POREPAN subiscono un incremento o un decremento degli sforzi di compressione, generati dai carichi verticali agenti, in funzione della direzione prevalente del sisma.

In base a quanto detto, volendo concentrare tutta la plasticità nell'attingimento del massimo sforzo di trazione sopportabile dal bullone M10, bisogna garantire che:

- i bulloni inseriti in fori asolati devono essere dimensionati in funzione delle sollecitazioni agenti al fine di soddisfare la seguente disuguaglianza: $R_d \geq E_d$, cercando di ottenere un tasso di lavoro quanto più alto possibile;
- i bulloni che fissano le traverse inseriti in fori non asolati non devono avere crisi per taglio e trazione. Nel caso in cui tale meccanismo di collasso dovesse manifestarsi, deve essere successivo alla formazione della cerniera plastica per trazione nei bulloni di cui sopra (gerarchia tra i bulloni);
- non ci sia sfilamento di tutti i bulloni che collegano la traversa alla fondazione, meccanismo che porterebbe il sistema parete al collasso. Pertanto la lunghezza di ancoraggio deve essere calcolata non con alle sollecitazioni agenti, ma con lo sforzo plastico dei bulloni utilizzati. In questo modo si assicura che un possibile sfilamento degli stessi avviene dopo la loro plasticizzazione;
- i pannelli POREPAN rimangano sempre in campo elastico, per tutta la durata del sisma, anche quando il bullone è plasticizzato;
- le traverse inferiore e superiore devono rimanere in campo elastico;
- qualora si formi una cerniera plastica nelle traverse, questa deve essere a flessione e non a taglio in quanto più duttile (gerarchia flessione – taglio);
- non vi sia rifollamento in prossimità dei fori non asolati delle traverse, in quanto questo comporterebbe uno slittamento eccessivo della traversa;
- nella zona di attacco tra il pannello POREPAN e la traversa, garantito tramite le barre filettate, il meccanismo di collasso che prevede la formazione di cerniere plastiche a flessione lungo il connettore deve avvenire dopo il rifollamento del legno (gerarchia tra le modalità di crisi del collegamento previste da Johansen);
- le piastra sui pannelli POREPAN di estremità devono rimanere in campo elastico;
- le funi d'acciaio devono rimanere in campo elastico.

Caso 2: Collegamento parete – solaio - parete

L'immagine indicata in precedenza, Fig. 7.18, rappresenta un caso in cui le pareti POREPAN non si estendono per tutta l'altezza del fabbricato e tra queste vi siano i pannelli costituenti il solaio che diventa quindi un elemento di discontinuità.

A questo punto, quando durante un evento sismico la parete tenderà a ribaltarsi bisognerà prestare attenzione a ciò che potrebbe accadere lungo la superficie di contatto tra parete e solaio, in particolar modo alle due estremità: da un lato vi sarà il bullone che dovrà snervare a trazione, meccanismo di crisi voluto, e dall'altro i pannelli lignei costituenti il solaio che potrebbero plasticizzarsi a causa della compressione in direzione perpendicolare alle fibre. Bisogna poi capire, riguardo quest'ultimo fenomeno di crisi, i possibili vantaggi e svantaggi cercando al contempo delle soluzioni di intervento post-sima che riportino il solaio ad un livello prestazionale tale da garantirne il riutilizzo.

Accettare la plasticizzazione in compressione dei pannelli lignei costituenti il solaio, sempre che non si abbia prima la rottura per trazione del bullone, comporta un aumento degli elementi che possono subire deformazioni in campo plastico e quindi una maggiore duttilità globale del sistema, ma anche un aumento degli elementi danneggiati con conseguente innalzamento delle spese di intervento e dei tempi di inutilizzo dell'edificio.

E' bene precisare che nonostante finora ci si è riferiti alla plasticizzazione dei pannelli lignei del solaio come un fenomeno che potesse manifestarsi solo nella parte opposta al bullone plasticizzato, in realtà può presentarsi anche nell'area circostante lo stesso. Il motivo è di facile comprensione se si focalizza l'attenzione sulla zona nodale tra le due traverse, le pareti verticali e il solaio, Fig. 7.19:

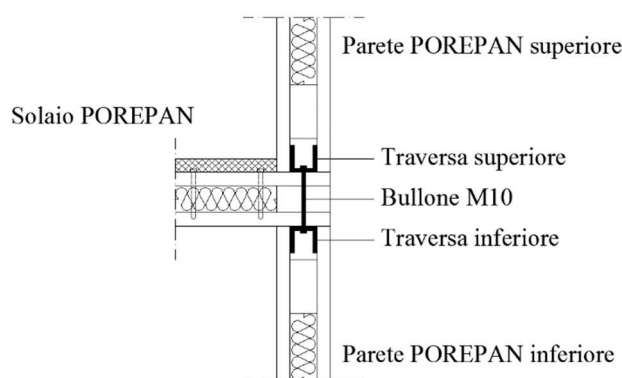


Fig. 7.19 Zona nodale tra le pareti verticali, le traverse e il solaio

Per capire quanto di seguito descritto si nomineranno *traversa A*, la traversa posta nella parte superiore della parete inferiore, e *traversa B* la traversa posta nella parte inferiore della parete superiore. Quando durante il sisma le pareti tendono a ruotare, la compressione ortogonale sul solaio si può presentare ad ambo i lati, ma in posizioni differenti. Ipotizzando che la direzione prevalente del sisma sia da sinistra a destra, la compressione ortogonale sarà presente a sinistra

all'intradosso mentre a destra all'estradosso e questo a causa del collegamento ipotizzato. Quest'ultimo, infatti, deve permettere lo snervamento del bullone e ciò può accadere solo esercitando una pressione sulla base della *traversa A*, la quale, ipotizzandola infinitamente rigida flessionalmente, è in grado di trasferirla a sua volta al solaio, schiacciandolo.

Allo stesso modo, per effetto del cinematismo a cui è soggetta la parete del secondo livello, il solaio subirà all'estradosso un ulteriore schiacciamento in direzione ortogonale.

E' chiaro che nel momento il sisma agirà nell'altra direzione, la plasticizzazione del solaio, qualora dovesse avvenire, sarà su ambo i lati, questa volta però sia all'intradosso che all'estradosso.

Per capire meglio quanto sopra esplicitato nella figura sottostante sono evidenziate in blu le zone in cui ci si aspetta la plasticizzazione in compressione del solaio.

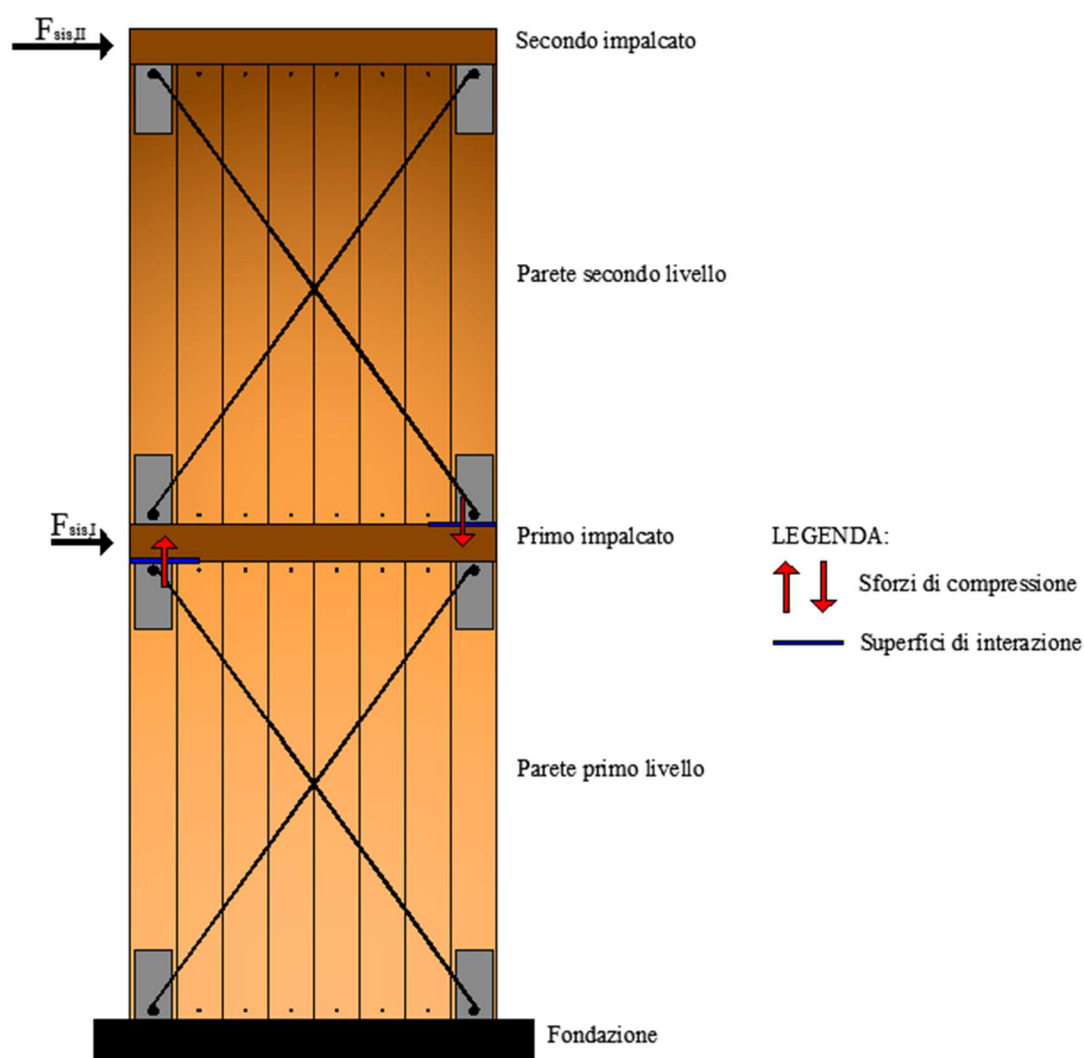


Fig. 7.20 Porzione di parete POREPAN multipiano con plasticizzazione del solaio

Qualora si decidesse di non accettare la plasticizzazione del solaio, una soluzione potrebbe essere quella di estendere i pannelli costituenti la parete per tutta l'altezza e agganciare a questi

i solai intermedi tramite angolari ad L metallici. Le funi d'acciaio, invece, sarebbero inserite in modo da costituire un'unica maglia controventata che si estende per tutta l'altezza, Fig.7.21:

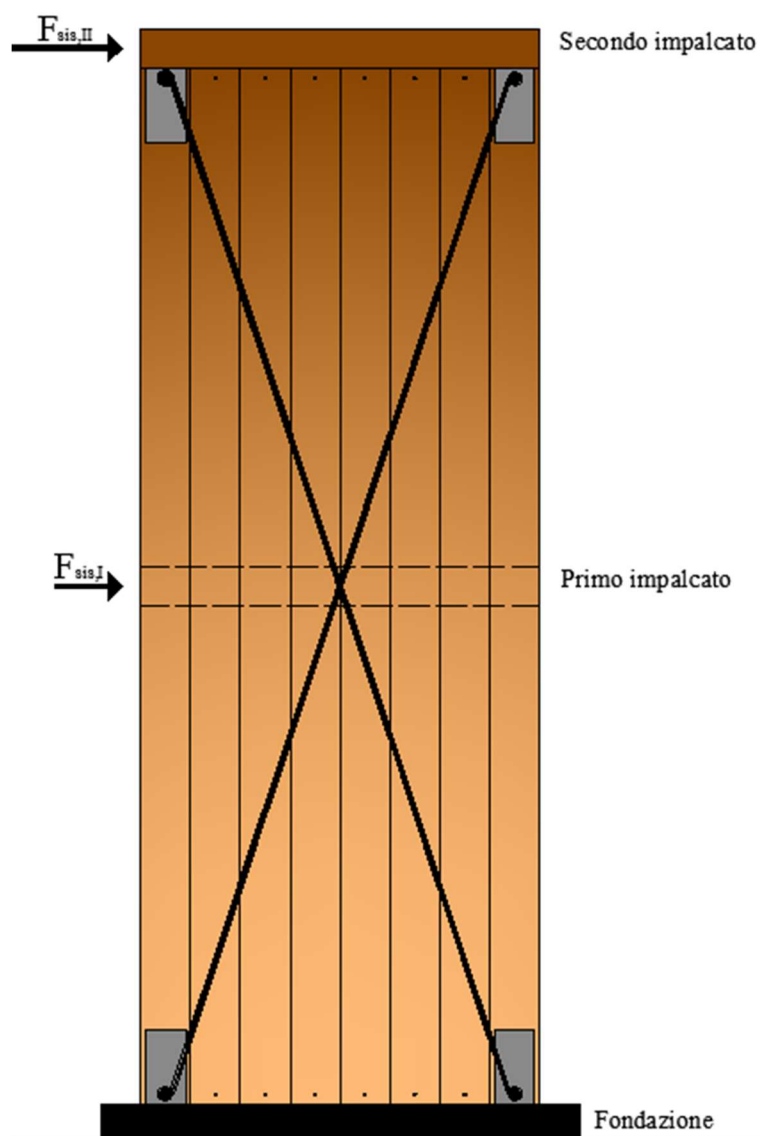


Fig. 7.21 Porzione di parete POREPAN – alternativa al *caso 2*

In questo caso il collegamento tra la parete e la copertura rimarrebbe uguale a quello indicato in precedenza, mentre quello tra parete e solaio intermedio è indicato in Fig. 7.22:

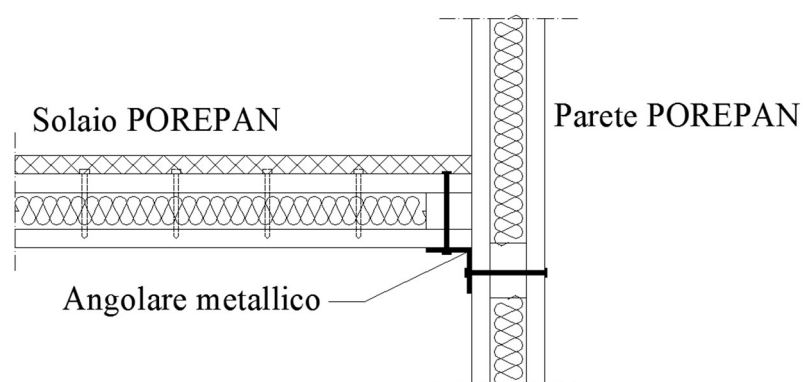


Fig. 7.22 *Caso 2:* Possibile collegamento parete – solaio

Come si vede, il solaio è reso solidale con la parete tramite dei bulloni che sono ancorati ad un angolare metallico ad L. Inoltre, in corrispondenza degli stessi, sono stati inseriti due tozzetti per evitare lo schiacciamento dell'EPS.

Eventuali problemi di instabilità relativi all'aumento della lunghezza libera di inflessione non sono presenti, in quanto il collegamento realizzato funge da vincolo per la parete fissando la stessa ad un'altezza pari a quella interpiano.

7.5. Campagna di prove sperimentali sulla parete POREPAN

La campagna di prove è stata svolta su pareti POREPAN, già descritta precedentemente sia dal punto di vista tecnologico che strutturale, al fine di valutarne le prestazioni fornite.

La campagna di prove sperimentali è stata organizzata nel seguente modo:

GRUPPO	PROVINO	DETTAGLI PROVA
1	1	Con funi senza pretensione
	2	Senza funi
	3	Con funi con pretensione
2	4	Con barre filettate M27, classe 4.8, pretese

Tab. 7.7 Suddivisione provini testati

Si riportano di seguito il dettaglio delle funi e delle barre filettate utilizzate per i vari provini, Fig 6.23:



Fig. 7.23 Barra M27 e funi utilizzate durante la prova

Per tutti i provini sono state effettuate prove monotone simulando le sole azioni orizzontali.

7.5.1 Set-up di prova e strumentazione adottata

Per ottenere dei buoni risultati di prova, si è fatta particolare attenzione sia al posizionamento del provino, sia nel predisporre tutti gli strumenti di misura necessari all'acquisizione dei dati. Per eliminare qualsiasi eccentricità nell'applicazione al carico, il provino deve essere centrato rispetto all'attuatore e rispetto, quindi, al banco di prova.

Di seguito si riporta la configurazione di prova con la relativa tabella delle attrezzature utilizzate (Fig. 7.24, Fig. 7.25 e Tab. 7.8).

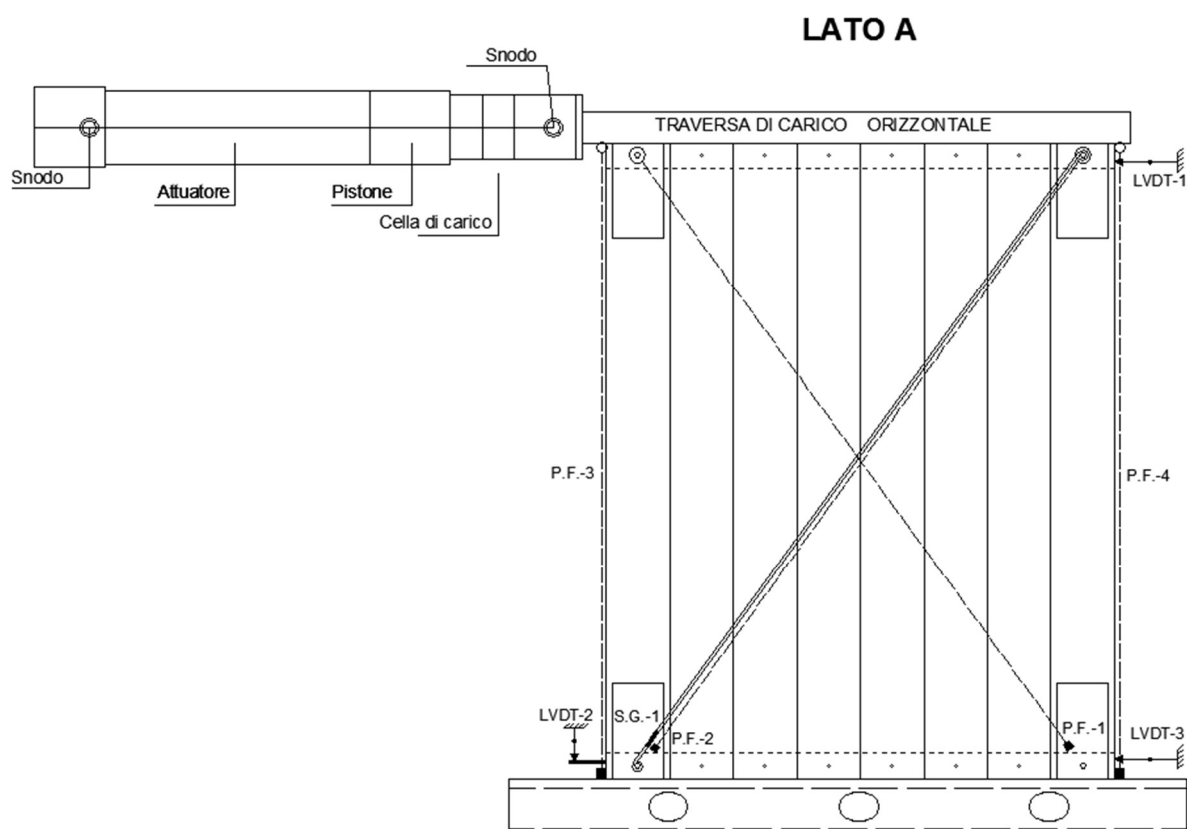


Fig. 7.24 Set-up di prova: LATO A

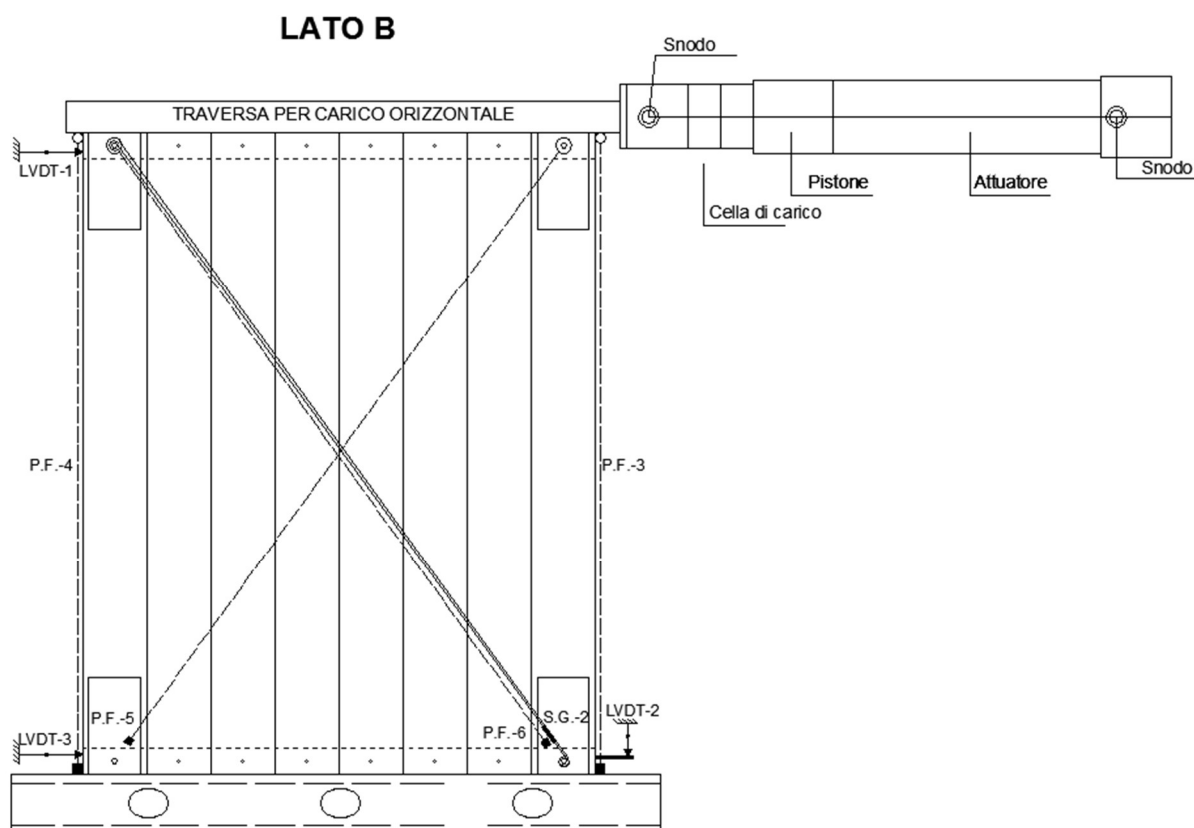


Fig. 7.25 Set-up di prova: LATO B

LVDT - 1	n.1 LVDT da 100 mm per misurare lo spostamento laterale
LVDT - 2	n.1 LVDT da 50 mm per misurare l'innalzamento della traversa a terra
LVDT - 3	n.1 LVDT da 20 mm per misurare lo slittamento della parete
P.F. - 1	n.1 Potenzziometro a filo da 150 mm per misurare l'accorciamento lungo la diagonale compressa sul LATO A
P.F. - 2	n.1 Potenzziometro a filo da 300 mm per misurare l'allungamento lungo la diagonale tesa sul LATO A
P.F. - 3	n.1 Potenzziometro a filo da 150 mm per misurare l'innalzamento della parete
P.F. - 4	n.1 Potenzziometro a filo da 300 mm per misurare l'abbassamento della parete
P.F. - 5	n.1 Potenzziometro a filo da 500 mm per misurare l'accorciamento lungo la diagonale compressa sul LATO B
P.F. - 6	n.1 Potenzziometro a filo da 500 mm per misurare l'allungamento lungo la diagonale tesa sul LATO A
S.G. - 1	n.1 Strain Gage per misurare la deformazione della fune in acciaio sul LATO A
S.G. - 2	n.1 Strain Gage per misurare la deformazione della fune in acciaio sul LATO B
Cella	Cella di carico AEP – 500 kN - A
Attuatore	MTS - A

Tab. 7.8 Attrezzatura di prova

I provini analizzati si distinguono in funzione delle seguenti caratteristiche:

- al provino n.1 non è stata applicata alcuna pretensione alle funi in acciaio;
- il provino n.2 è sprovvisto di funi in acciaio;
- al provino n.3 è stata applicata una pretensione alle funi in acciaio pari a circa 40 kg/cm², corrispondente ad uno sforzo complessivo di circa 400 kg.
- al provino n.4 è stata applicata una pretensione alle funi in acciaio pari a circa 70 kg/cm², corrispondente ad uno sforzo complessivo di circa 500 kg.

I dati di output forniti dalla strumentazione di prova sono:

- durata della prova [sec];
- spostamento laterale [cm];
- innalzamento traversa [cm];
- slittamento parete [cm];
- allungamento diagonale tesa e compressa (LATO A e LATO B) [cm];
- deformazione delle funi [-];
- forza della cella di carico [kg].

Da questi dati sono stati ottenuti dei diagrammi forza-spostamento per la parete e tensione-deformazione per le funi. La tensione nelle funi in acciaio espressa in kg/cm², è stata determinata moltiplicando i valori registrati dagli Strain Gage per un fattore di scala riportato all'interno della scheda tecnica degli stessi, pari a 0.001914, e per il modulo elastico dell'acciaio pari a 2100000 kg/cm².

7.5.2. Risultati delle prove: Provino n.1

Come si vede dal primo diagramma, di seguito riportato in Fig. 7.27, il comportamento della parete è elastico – fragile. E' possibile osservare un primo tratto in cui gli spostamenti registrati sono nulli al crescere della forza: ciò è dovuto al momento stabilizzante, generato dal peso della parete, che risulta essere maggiore di quello ribaltante. In corrispondenza di uno spostamento pari a 2,2 cm si osserva un decremento di forza dovuto all'interruzione momentanea della prova per permettere di modificare la velocità dell'attuatore da 0,5 cm/min a 1 cm/min. In corrispondenza di spostamenti laterali pari a 3,2 e 3,5 cm si notano dei punti di discontinuità nel diagramma dovuti allo scorrimento del dado del bullone, posto nel foro asolato in basso a sinistra, attorno la filettatura. La prova giunge a collasso in corrispondenza di una forza ultima pari a 2575 kg e uno spostamento pari a 5,2 cm.

Tutti i componenti costituenti la parete hanno avuto un comportamento elastico lineare, infatti alla fine della prova sono ritornati nella loro configurazione iniziale. Non hanno mostrato alcun livello di danno, ad eccezione del bullone posto in basso a sinistra la cui filettatura è stata completamente consumata dall'azione abrasiva esercitata dal dado che lo serrava allo scatolare di appoggio della parete.

Nonostante la curva forza spostamento è elastico – fragile, la curva registrata dall'LVDT 2 mostra che lo snervamento della bullone inserito nel foro asolato c'è stato in corrispondenza di una forza dell'attuatore pari a circa 1600 kg. Ciò è ancor di più confermato se si considera il seguente triangolo delle forze, ipotizzando lo snervamento del bullone.

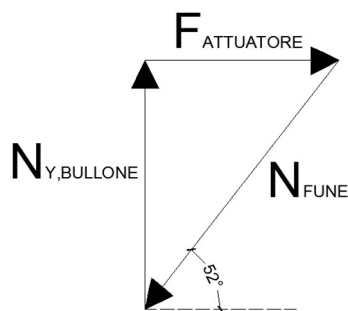


Fig. 7.26 Triangolo delle forze

Posto che il bullone utilizzato è una barra di acciaio dolce S355, di diametro M10, a cui è stata effettuata una filettatura alle estremità per permettere il serraggio della stessa alla traversa tramite dadi, lo sforzo caratteristico di trazione vale:

$$N_y = 0,6 \text{ cm}^2 \times 3500 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 2100 \text{ kg}$$

Dall'equilibrio del triangolo delle forze, si ricava la forza che deve essere esercitata dall'attuatore al fine di garantire lo snervamento del bullone:

$$F_{\text{att}} = \frac{N_{\text{bull}}}{\tan(52^\circ)} = 1640 \text{ kg}$$

Si riportano di seguito i diagrammi forza spostamento in funzione dei dati rilevati dalla strumentazione adottata, tenendo presente che allo spostamento rilevato in testa dallo strumento LVDT 1 bisogna sottrarre quello registrato a terra dallo strumento LVDT 3 al fine di ottenere l'effettivo spostamento interpiano.

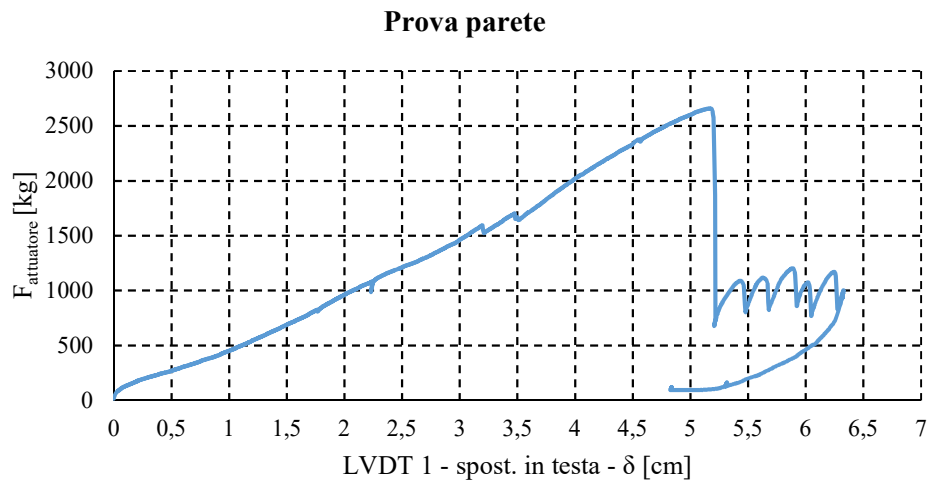


Fig. 7.27 Diagramma forza - spostamento in testa

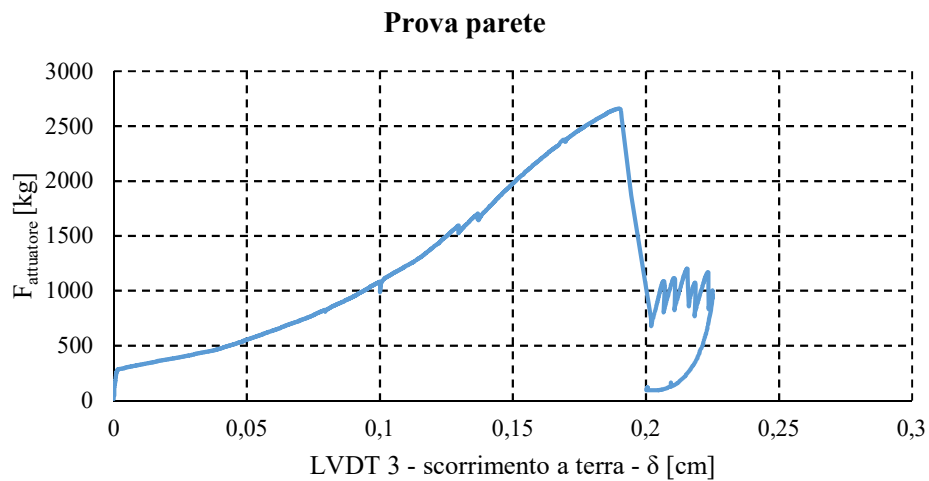


Fig. 7.28 Diagramma forza - scorrimento

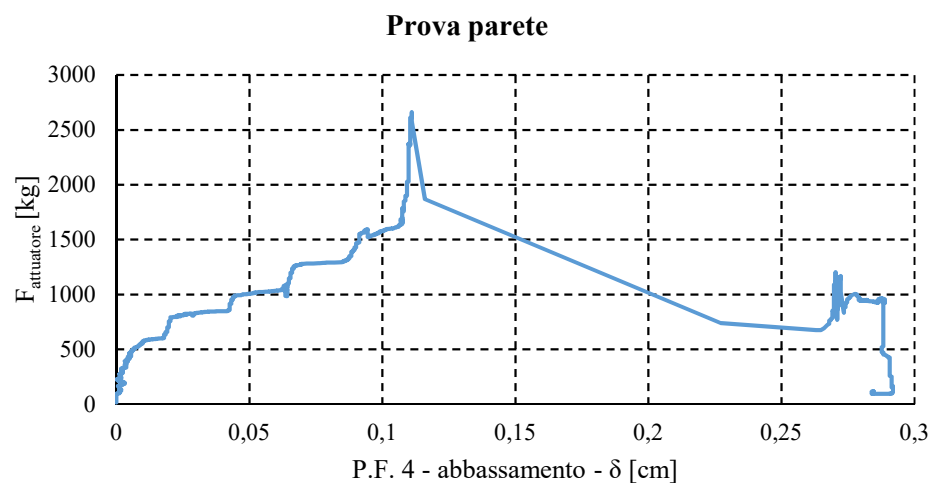


Fig. 7.30 Diagramma forza - abbassamento

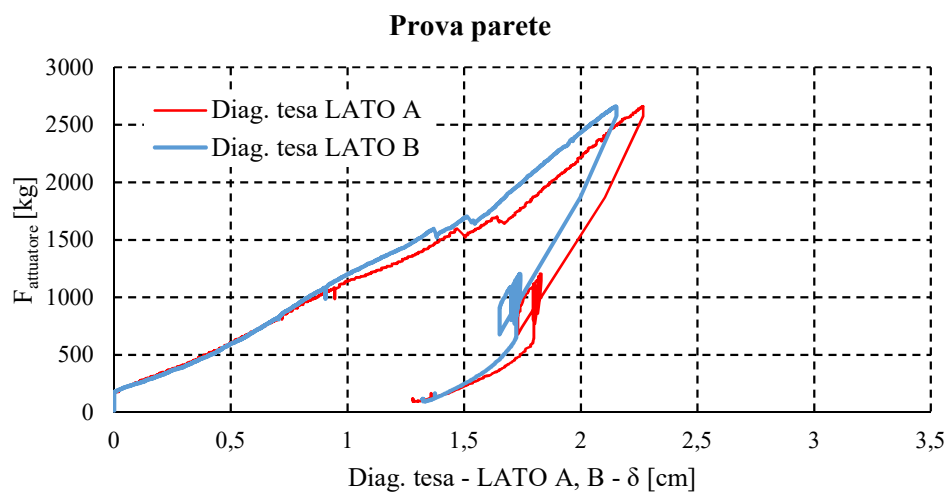


Fig. 7.31 Diagramma forza – allungamento diagonale

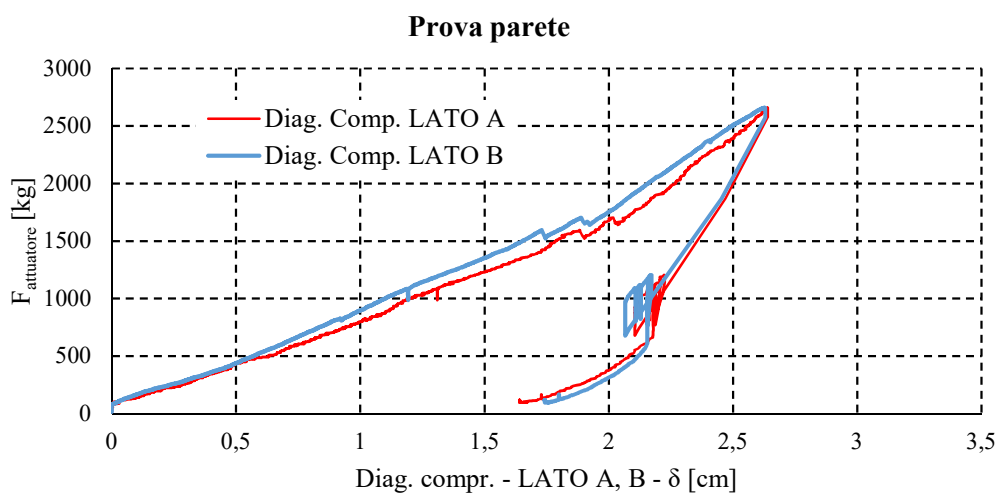


Fig. 7.32 Diagramma forza – accorciamento diagonale

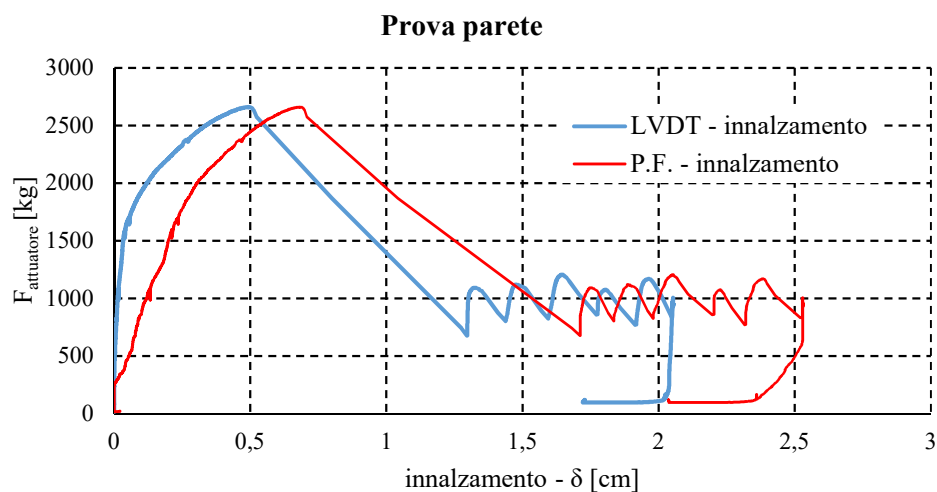


Fig. 7.33 Diagramma forza – innalzamento (confronto strumentazione)

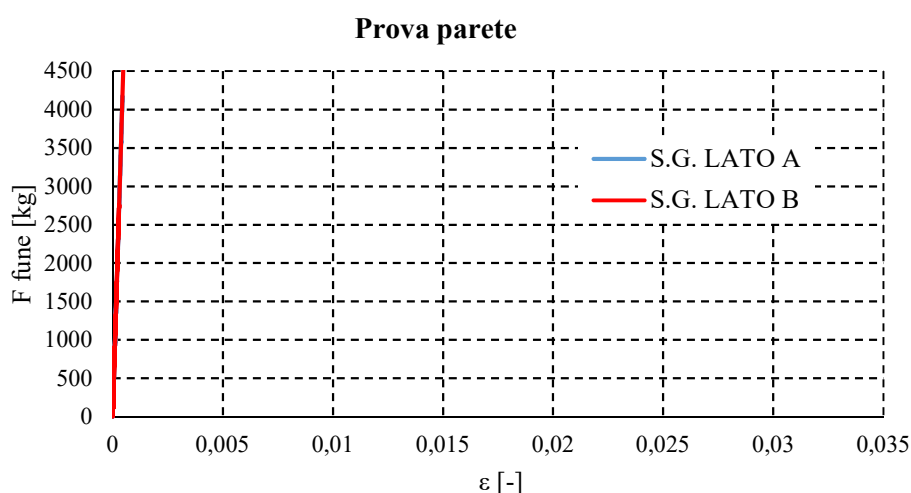


Fig. 7.34 Diagramma forza – deformazione – funi

Le criticità riscontrate in questa prova sono le seguenti:

- il sistema così realizzato risulta essere troppo deformabile, infatti si giunge a fine prova con uno spostamento ultimo pari a 5,2 cm su un'altezza di due metri, corrispondenti quindi ad un drift di piano pari a 2,6%;
- l'unico elemento fusibile di tutta la parete, non ha mostrato le modalità di collasso voluto, in quanto ha raggiunto la tensione di snervamento ma non è stato registrato un comportamento tipico di un acciaio dolce. Ciò è dovuto alla modalità di crisi manifestatasi, ossia di fragile della filettatura che a fine prova è risultata completamente abrasa dal dado fig. 7.35;



Fig. 7.35 Barra M10 filettata a fine prova

- L'escursione in campo plastico che si registra a livello locale nella zona di attacco bullone – traversa dovuta allo snervamento del bullone, oltre che interrompersi per il motivo sopra descritto, non è visibile a livello globale nella curva riportata in fig. 7.27. Ciò potrebbe essere dovuto ad una eccessiva deformabilità del sistema.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 7.9) e la relativa documentazione fotografica.

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO	
DATA DI PROVA	26/01/2016
DIMENSIONI	200x160x16 cm
MATERIALE	Abete austriaco, eps, acciaio
TIPO DI PROVA	Monotona su parete POREPAN
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidezza elastica, della forza e dello spostamento ultimi della parete POREPAN
VELOCITA' DI PROVA	Variabile: 0,5 e 1 cm/minuto
COMPORTAMENTO DEL PROVINO	
Carico ultimo F_U [kg]	Spostamento laterale d_U [cm]
2575	5,2
TIPOLOGIA DI ROTTURA	
Crisi fragile dovuta all'azione abrasiva esercitata dal dado sulla filettatura del bullone posto in basso a sinistra	

Tab. 7.9 Riepilogo provino 1

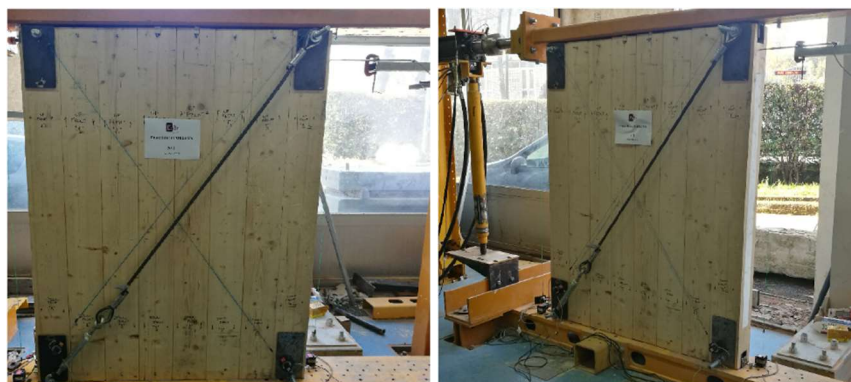


Fig. 7.36 Parete lato A – inizio prova



Fig. 7.37 Parete lato A – durante



Fig. 7.38 Parete lato A – particolare nodo – inizio e fine prova

7.5.2. Risultati delle prove: Provino n.2

Prima di descrivere la prova e riportare diagrammi forza spostamento in funzione dei dati rilevati dalla strumentazione adottata, si vuole precisare che tale prova è stata effettuata con il solo scopo di determinare il comportamento della parete in assenza di controventatura e quindi la sua rigidezza elastica. A tal proposito si riporta uno schema rappresentativo del set-up di prova, Fig. 7.39 – Fig. 7.40.

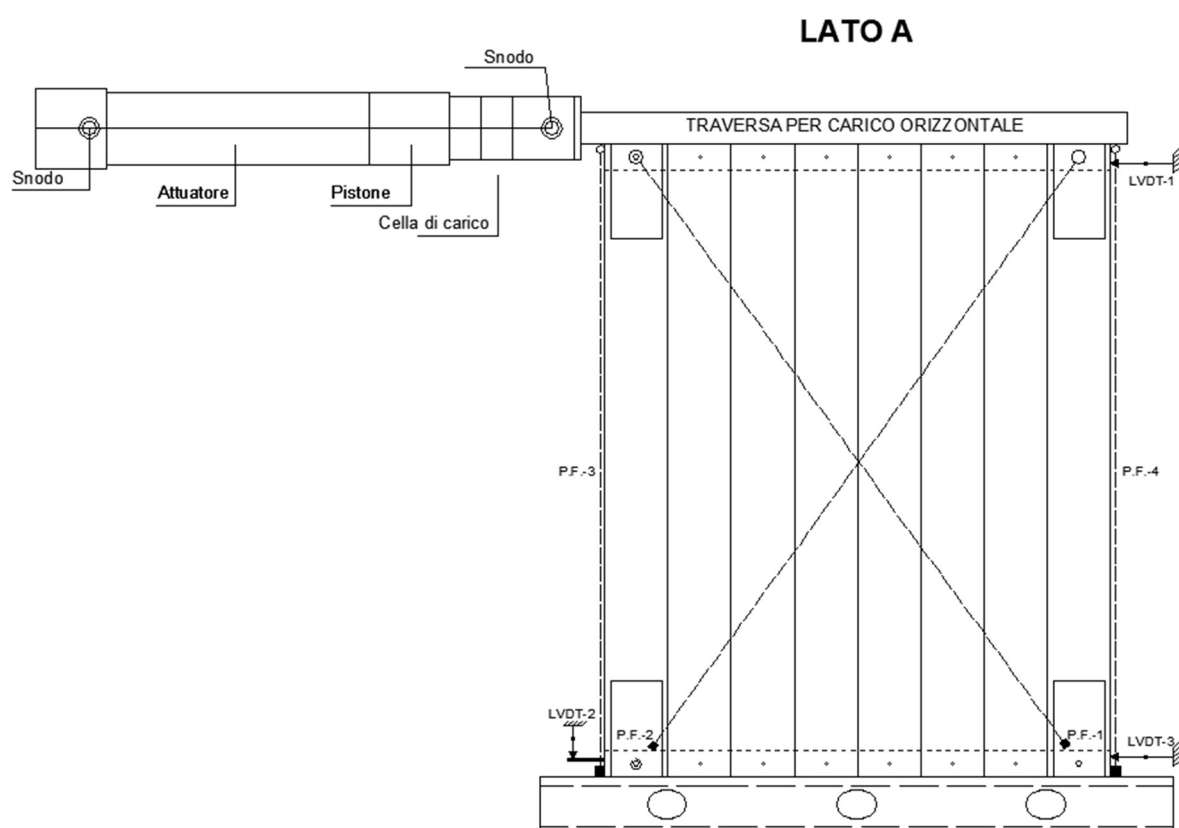


Fig. 7.39 Set-up di prova: Provino 2 LATO A

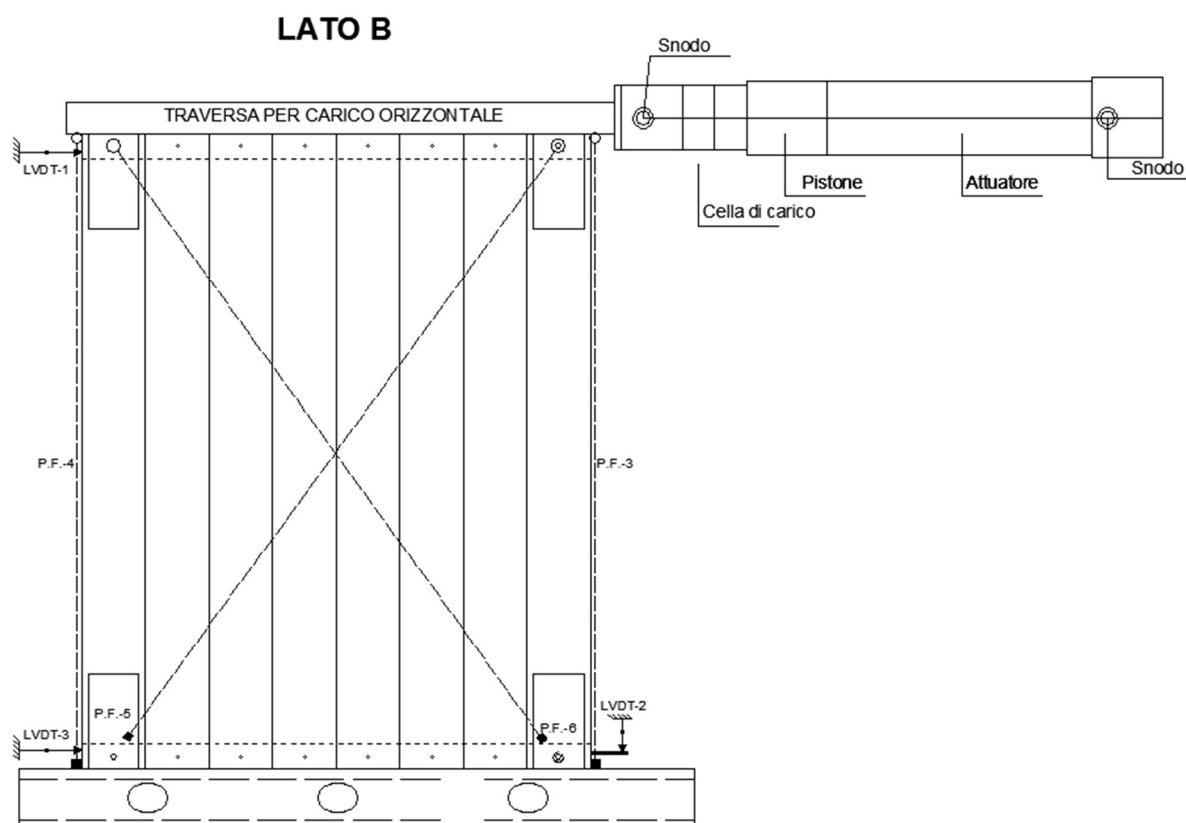


Fig. 7.40 Set-up di prova: Provino 2 LATO B

Lo spostamento ultimo riportato nel primo diagramma, in Fig. 7.41, corrispondente ad un drift dell'1%, non è stato fissato arbitrariamente, ma in modo da poter permettere il calcolo della rigidità elastica della parete. Quest'ultima è data dal rapporto F/δ , ed è pari a 50 kg/cm.

Si tenga presente che allo spostamento rilevato in testa dallo strumento LVDT 1 bisogna sottrarre quello registrato a terra dallo strumento LVDT 3 al fine di ottenere l'effettivo spostamento interpiano.

Si riportano di seguito i vari diagrammi registrati dalla strumentazione adottata.

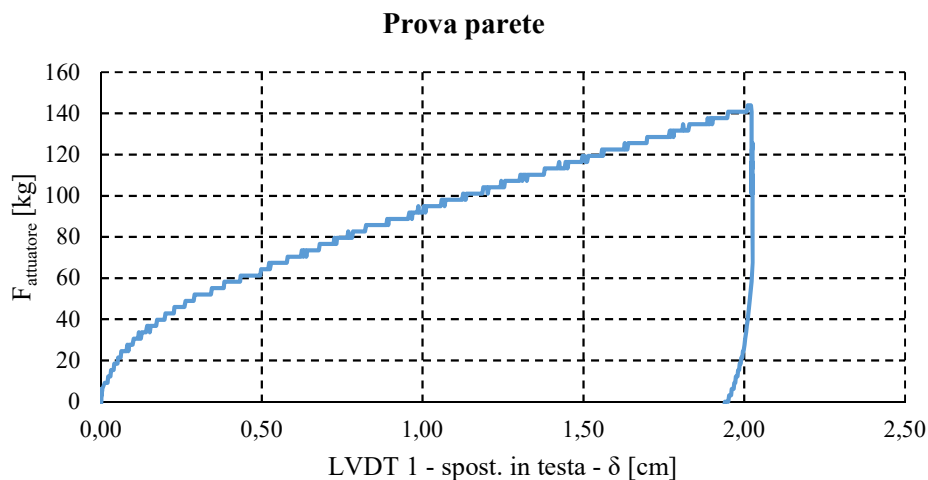


Fig. 7.41 Diagramma forza - spostamento in testa

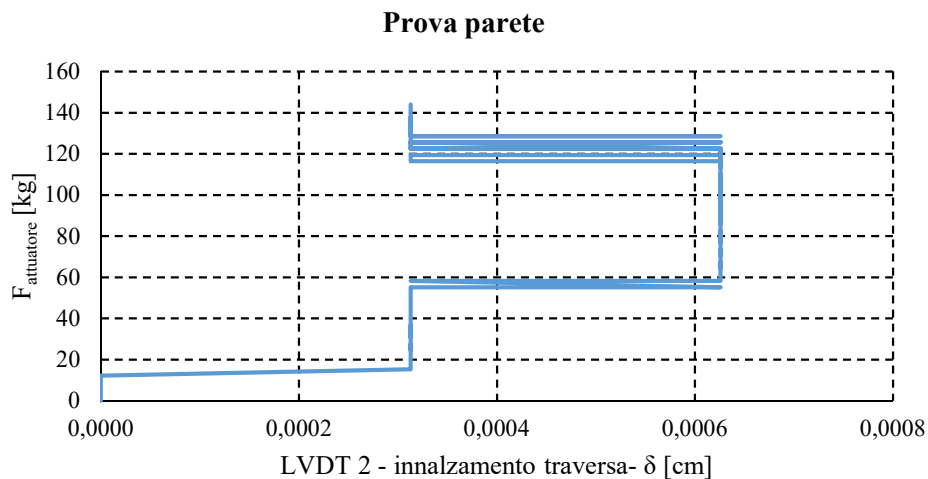


Fig. 7.42 Diagramma forza - innalzamento

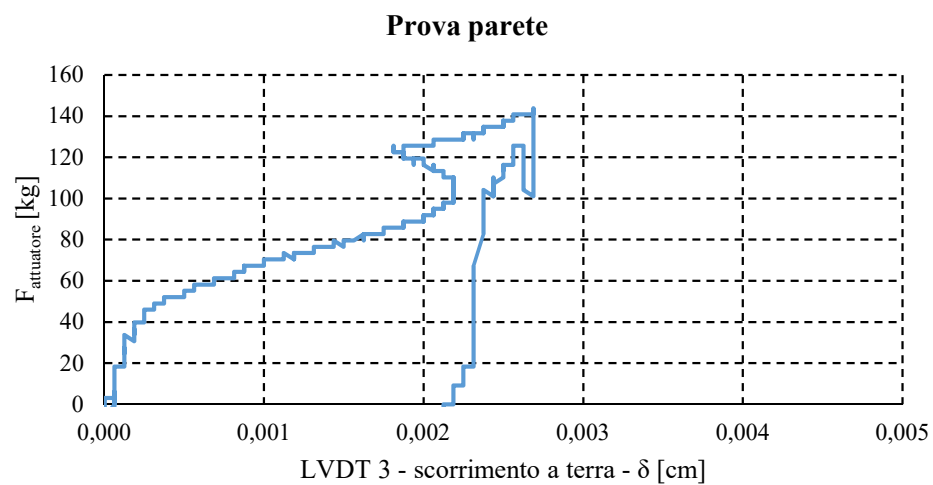


Fig. 7.43 Diagramma forza – scorrimento

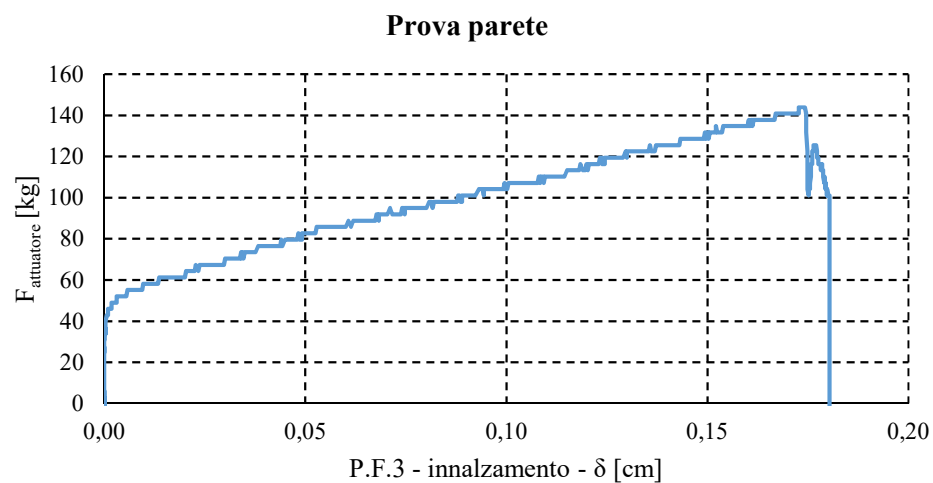


Fig. 7.44 Diagramma forza – innalzamento

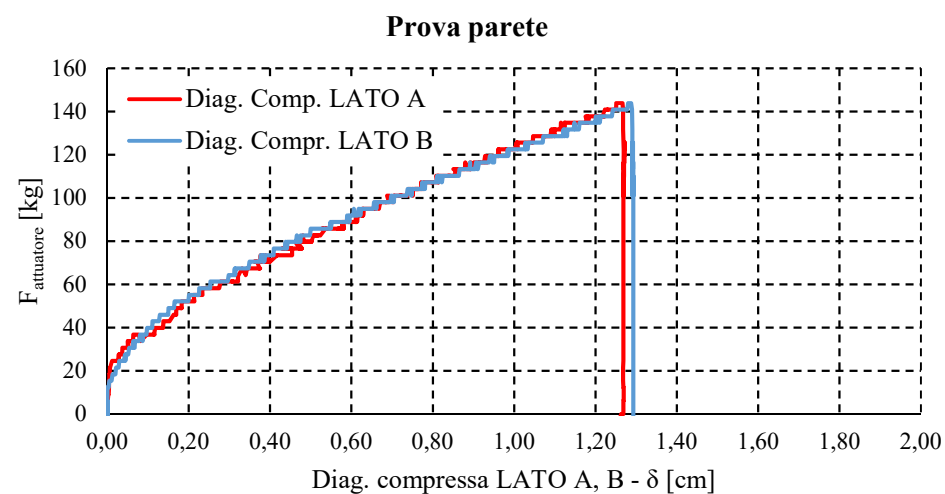


Fig. 7.45 Diagramma forza – accorciamento diagonale

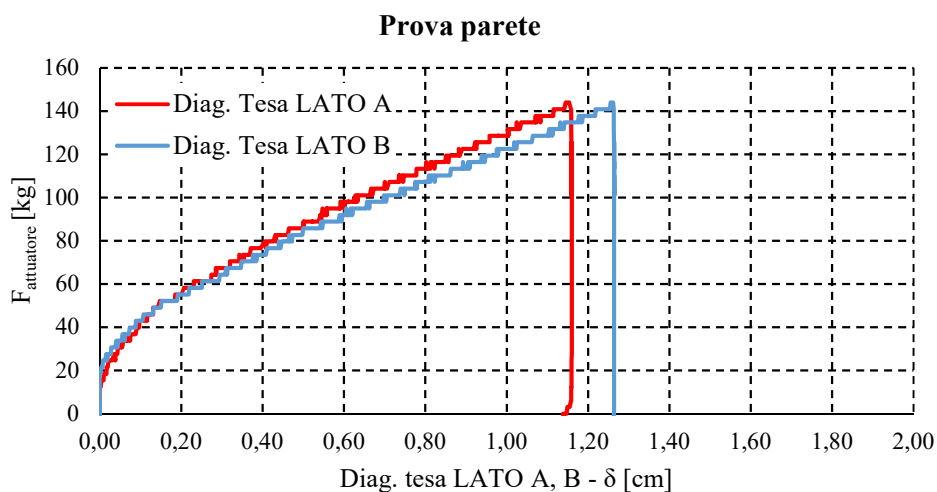


Fig. 7.46 Diagramma forza – allungamento diagonale

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 7.10) e la relativa documentazione fotografica.

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	08/02/2016
DIMENSIONI	200x160x16 cm
MATERIALE	Abete austriaco, eps, acciaio
TIPO DI PROVA	Monotona su parete POREPAN
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidezza elastica in assenza di controventatura
VELOCITA' DI PROVA	1 cm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

Carico ultimo	Spostamento laterale
F_U [kg]	d_U [cm]
2575	2

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Assente

Tab. 7.10 Riepilogo provino 2



Fig. 7.47 Parete Lato A – inizio e fine prova

7.5.3. Risultati delle prove: Provino n.3

Anche se non molto accentuato dal diagramma di seguito riportato in Fig. 7.50, il comportamento della parete è elasto – duttile. In corrispondenza di uno spostamento pari a 2,4 cm si osserva un decremento di forza dovuto all'interruzione momentanea della prova per controllare lo stato tensionale nelle funi. La prova giunge a collasso in corrispondenza di una forza ultima pari a 4000 kg e uno spostamento pari a 5,6 cm.

Tutti i componenti costituenti la parete hanno avuto un comportamento elastico lineare, ad eccezione del bullone in basso a sinistra, inserito nel foro asolato della traversa. Tutti, infatti, non hanno mostrato alcun livello di danno e sono ritornati nella configurazione iniziale ad eccezione del bullone che si è tranciato dopo aver raggiunto la massima resistenza a trazione, Fig 7.48.



Fig. 7.48 Bullone 8.8 ad inizio e fine prova

Nonostante la curva forza spostamento non presenta un ramo plastico ben definito, la curva registrata dall'LVDT 2 mostra che lo snervamento del bullone inserito nel foro asolato c'è stato in corrispondenza di una forza dell'attuatore compresa tra 3000 e 3500 kg. Ciò è ancor di più confermato se si considera il seguente triangolo delle forze, ipotizzando lo snervamento del bullone.

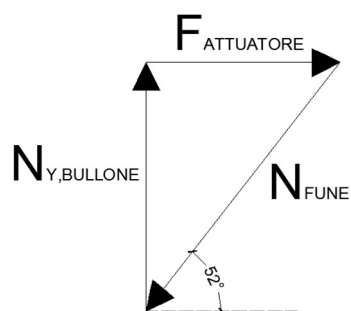


Fig. 7.49 Triangolo delle forze

Posto che il bullone utilizzato è un M10 di classe 8.8, lo sforzo caratteristico di trazione vale:

$$N_y = 0,6 \text{ cm}^2 \times 6400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 3840 \text{ kg}$$

Dall'equilibrio del triangolo delle forze, si ricava la forza che deve essere esercitata dall'attuatore al fine di garantire lo snervamento del bullone:

$$F_{\text{att}} = \frac{N_{\text{bull}}}{\tan(52^\circ)} = 3000 \text{ kg}$$

La crisi del sistema è avvenuta nel modo voluto, in quanto le deformazioni del bullone sono dell'ordine del 10% (considerando la lunghezza libera di deformazione pari a 4 cm).

Si tenga presente che allo spostamento rilevato in testa dallo strumento LVDT 1 bisogna sottrarre quello registrato a terra dallo strumento LVDT 3 al fine di ottenere l'effettivo spostamento interpiano.

Si riportano di seguito i diagrammi forza spostamento in funzione dei dati rilevati dalla strumentazione adottata.

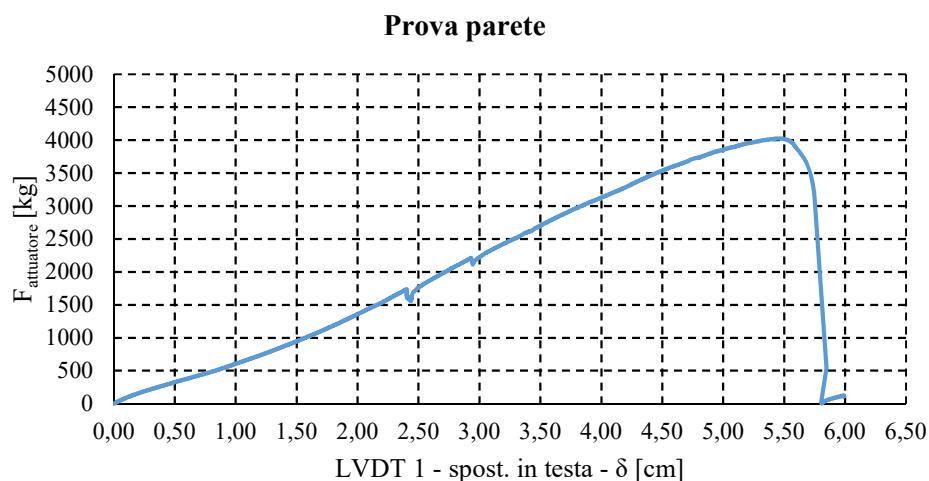


Fig. 7.50 Diagramma forza - spostamento in testa

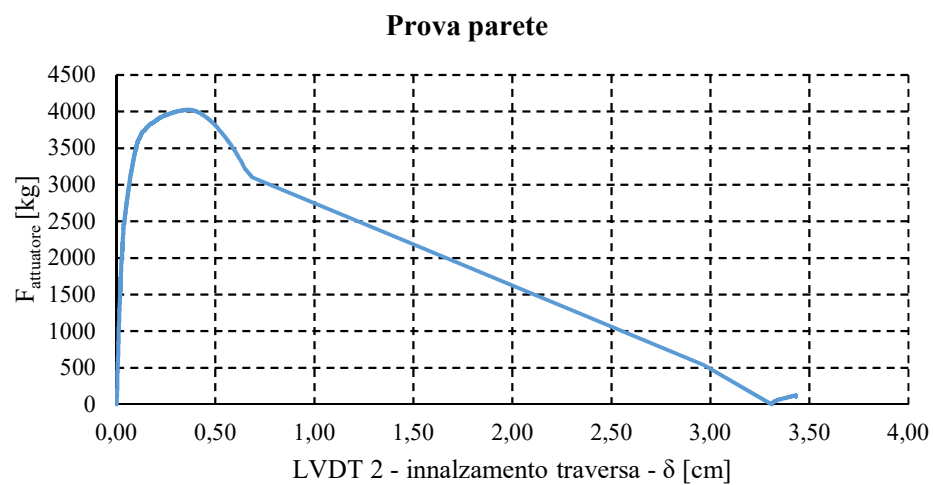


Fig. 7.51 Diagramma forza - innalzamento

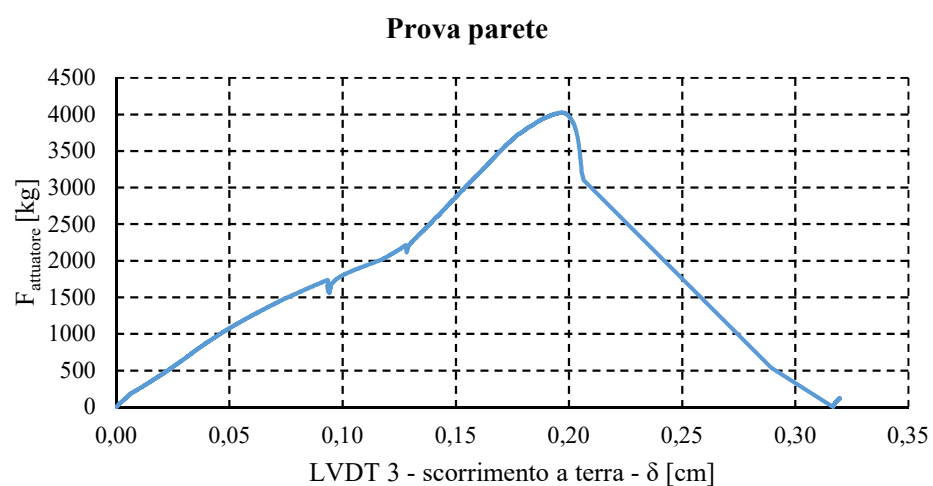


Fig. 7.52 Diagramma forza – scorrimento

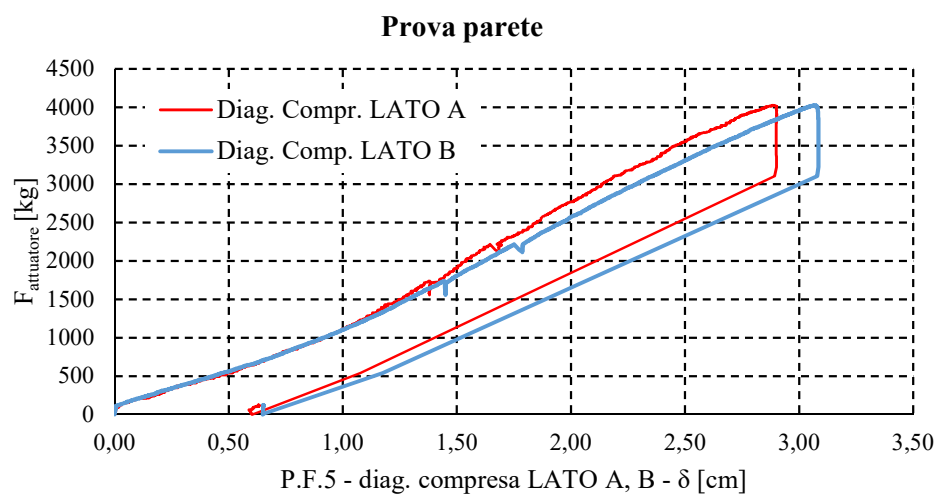


Fig. 7.53 Diagramma forza – accorciamento diagonale

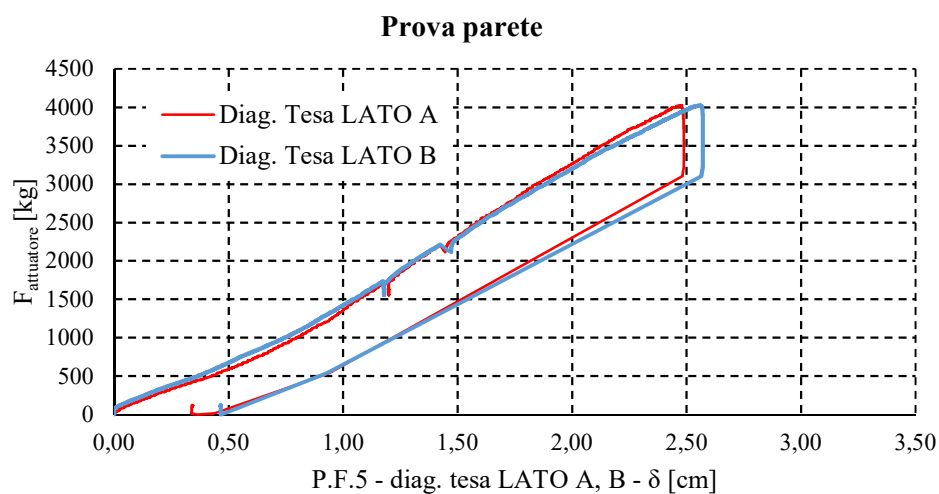


Fig. 7.54 Diagramma forza – allungamento diagonale

Le criticità riscontrate in questa prova sono le seguenti:

- il sistema così realizzato risulta essere troppo deformabile, infatti si giunge a fine prova con uno spostamento ultimo pari a 5,7 cm su un'altezza di due metri, corrispondenti quindi ad un drift di piano pari a 2,8%;
- L'escursione in campo plastico che si registra a livello locale nella zona di attacco bullone – traversa dovuta allo snervamento del bullone non è visibile a livello globale nella curva riportata in Fig. 7.50. Ciò potrebbe essere dovuto ad una eccessiva deformabilità del sistema.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab. 7.11) e la relativa documentazione fotografica.

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	08/02/2016
DIMENSIONI	200x160x16 cm
MATERIALE	Abete austriaco, eps, acciaio
TIPO DI PROVA	Monotona su parete POREPAN
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidità elastica, della forza e dello spostamento ultimi della parete POREPAN
VELOCITA' DI PROVA	1 cm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

Carico F [kg]	Spostamento laterale d [cm]
4000	5,6

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura duttile a trazione del bullone 8.8

Tab. 7.11 Riepilogo provino 3



Fig. 7.55 Parete lato A e lato B – inizio prova



Fig. 7.56 Parete lato A – durante

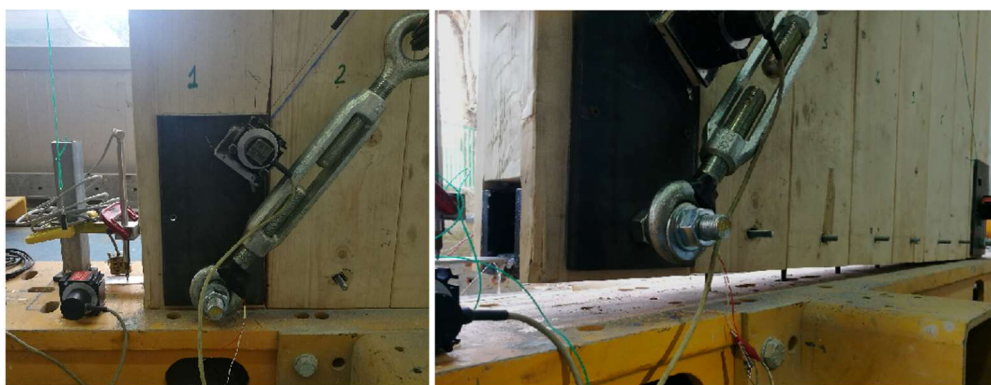


Fig. 7.57 Parete lato A – particolare nodo – inizio e fine prova

7.5.4. Risultati delle prove: Provino n.4

Anche se non molto accentuato dal diagramma di seguito riportato in Fig. 7.60, il comportamento della parete è elasto – duttile. E' possibile osservare un primo tratto in cui gli spostamenti registrati sono nulli al crescere della forza: ciò è dovuto al momento stabilizzante, generato dal peso della parete, che risulta essere maggiore di quello ribaltante. Dopo questo primo tratto il comportamento è elastico – lineare fino ad uno spostamento di 1,7 cm in cui si registra un decremento di forza dovuto all'interruzione momentanea della prova per diminuire la velocità da 1 cm/min a 0,5 cm/min. La curva continua con la stessa pendenza fino ad uno spostamento di 2,1 cm in cui la prova è stata interrotta nuovamente per ridurre la velocità da 0,5 cm/min a 0,25 cm/min. Da questo punto in poi la prova continua, non più con comportamento lineare, e si giunge al collasso in corrispondenza di una forza ultima pari a 4327 kg e uno spostamento pari a 3 cm.

Tutti i componenti costituenti la parete hanno avuto un comportamento elastico lineare, ad eccezione del bullone in basso a sinistra, inserito nel foro asolato della traversa. Tutti, infatti, non hanno mostrato alcun livello di danno e sono ritornati nella configurazione iniziale ad eccezione del bullone che si è tranciato dopo aver raggiunto la massima resistenza a trazione, fig 7.58.



Fig. 7.58 Bullone 8.8 ad inizio e fine prova

Nonostante la curva forza spostamento non presenta un ramo plastico ben definito, la curva registrata dall'LVDT 2 mostra che lo snervamento del bullone inserito nel foro asolato c'è stato in corrispondenza di una forza dell'attuatore compresa tra 3000 e 3500 kg. Ciò è ancor di più

confermato se si considera il seguente triangolo delle forze, ipotizzando lo snervamento del bullone.

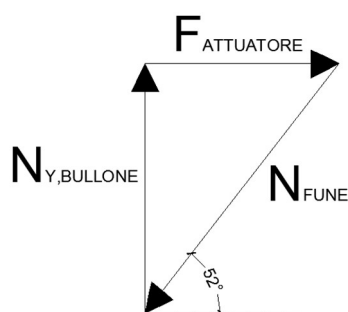


Fig. 7.59 Triangolo delle forze

Posto che il bullone utilizzato è un M10 di classe 8.8, lo sforzo caratteristico di trazione vale:

$$N_y = 0,6 \text{ cm}^2 \times 6400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 3840 \text{ kg}$$

Dall'equilibrio del triangolo delle forze, si ricava la forza che deve essere esercitata dall'attuatore al fine di garantire lo snervamento del bullone:

$$F_{att} = \frac{N_{bull}}{\tan(52^\circ)} = 3000 \text{ kg}$$

La crisi del sistema è avvenuta nel modo voluto, in quanto le deformazioni del bullone sono dell'ordine del 10% (considerando la lunghezza libera di deformazione pari a 4 cm).

Si tenga presente che allo spostamento rilevato in testa dallo strumento LVDT 1 bisogna sottrarre quello registrato a terra dallo strumento LVDT 3 al fine di ottenere l'effettivo spostamento interpiano.

Si riportano di seguito i diagrammi forza spostamento in funzione dei dati rilevati dalla strumentazione adottata.

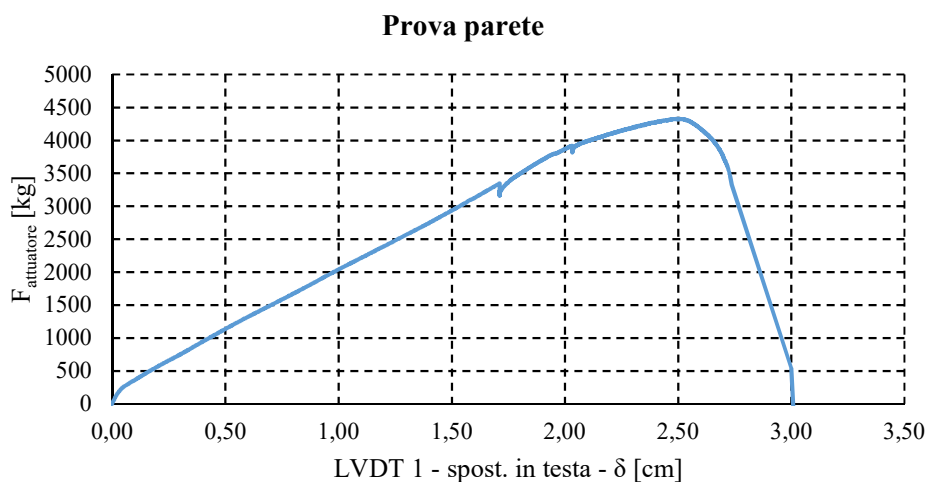


Fig. 7.60 Diagramma forza – spostamento

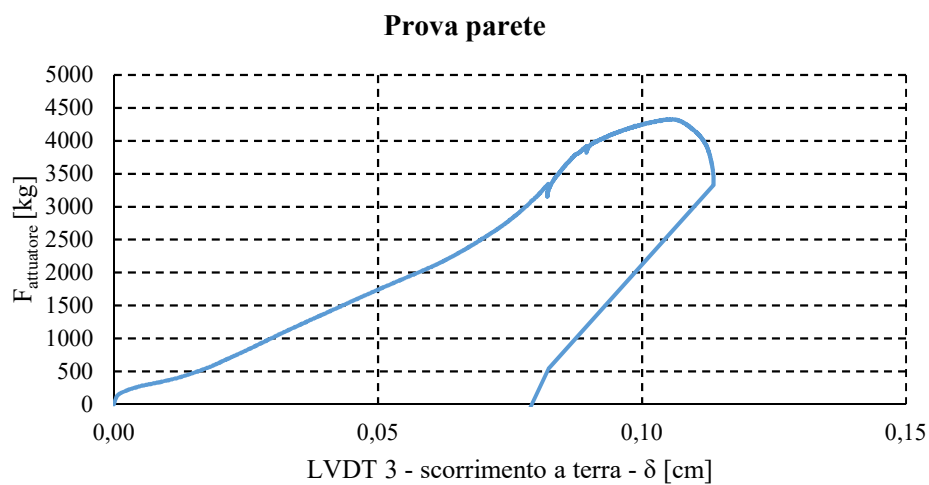


Fig. 7.61 Diagramma forza – scorrimento

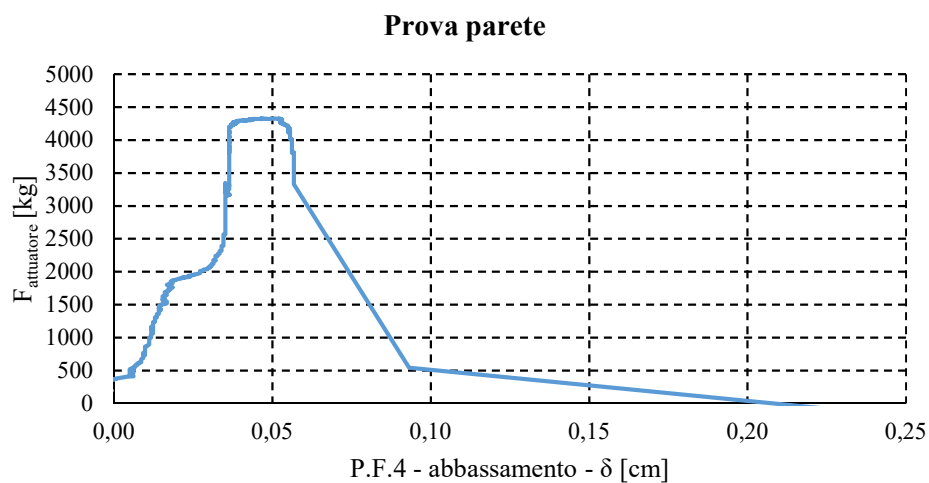


Fig. 7.62 Diagramma forza – abbassamento

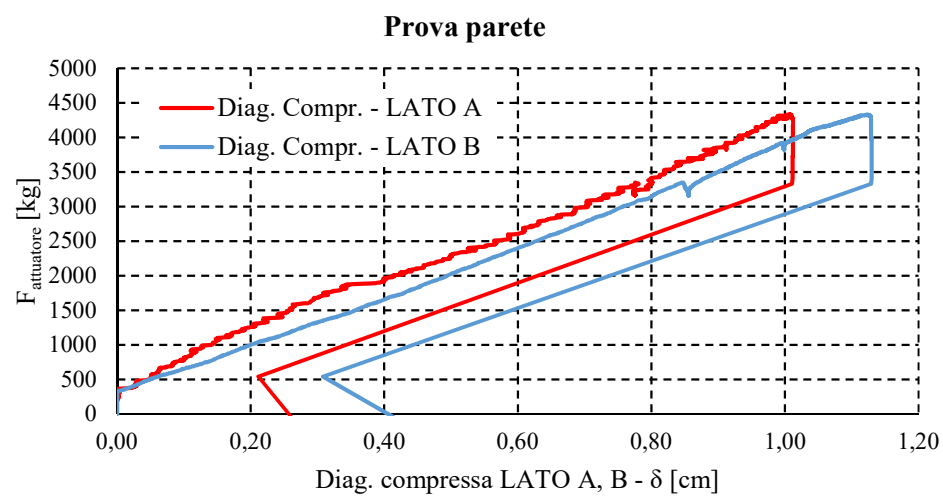


Fig. 7.63 Diagramma forza – accorciamento diagonale

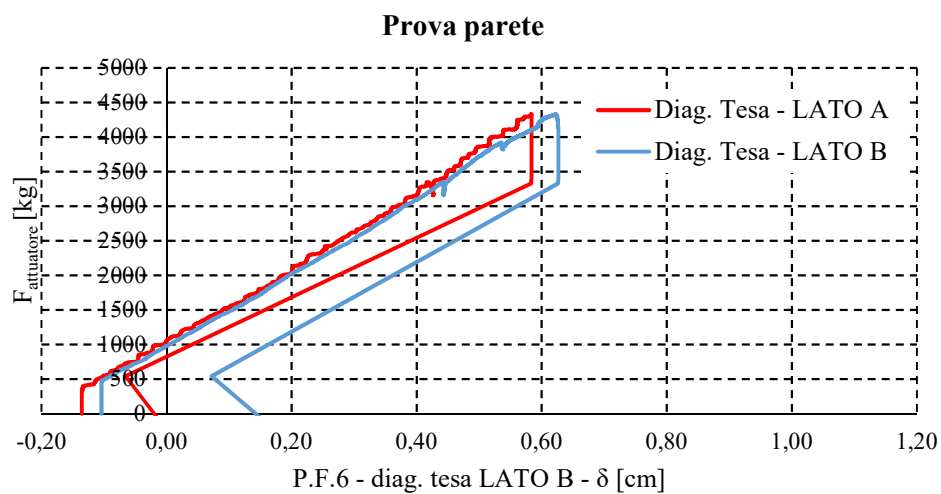


Fig. 7.64 Diagramma forza – allungamento diagonale

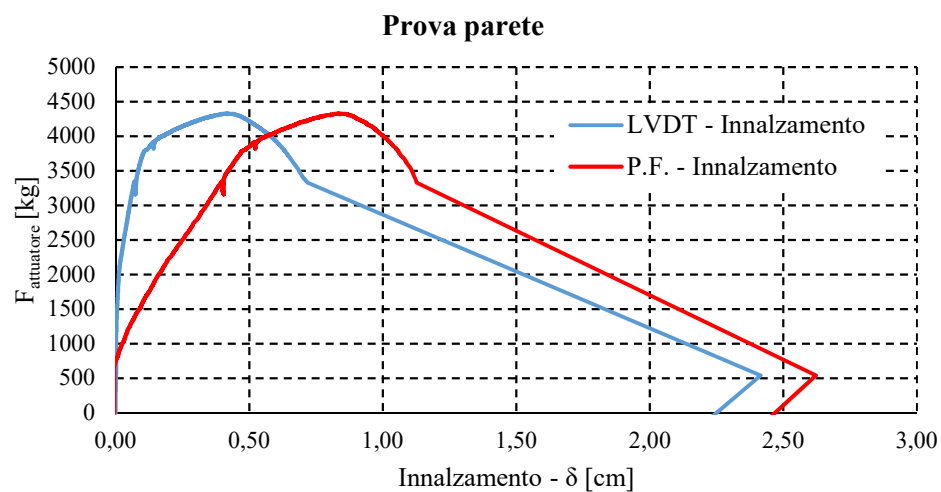


Fig. 7.65 Diagramma forza – innalzamento – confronto strumentazione

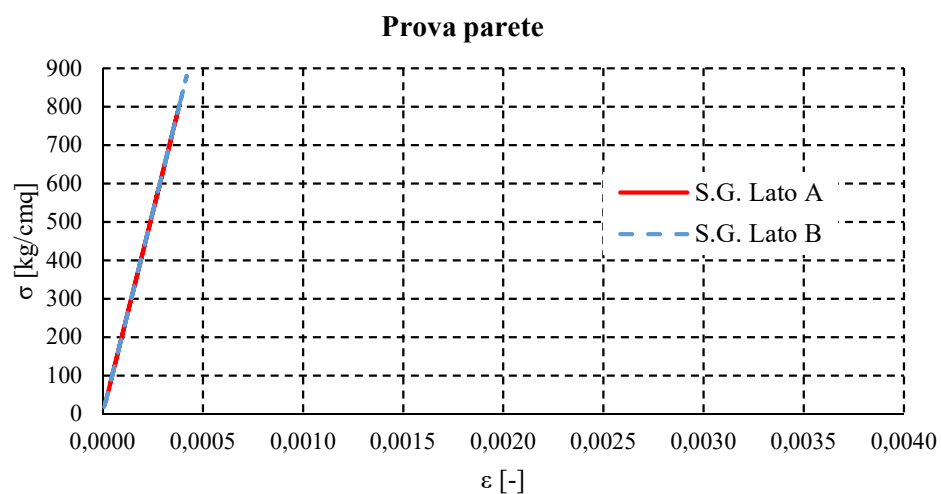


Fig. 7.66 Diagramma $\sigma - \varepsilon$ per le barre M27

Le criticità riscontrate in questa prova sono le seguenti:

- il sistema così realizzato risulta essere meno deformabile, infatti si giunge a fine prova con uno spostamento ultimo pari a 3 cm su un'altezza di due metri, corrispondenti quindi ad un drift di piano pari a 1,5%;
- L'escursione in campo plastico che si registra a livello locale nella zona di attacco bullone – traversa dovuta allo snervamento del bullone non è visibile a livello globale nella curva riportata in fig. 6.60. Ciò potrebbe essere dovuto alla deformabilità del sistema.

Si riporta, di seguito, una scheda riepilogativa della prova (Tab.7.12) e la relativa documentazione fotografica.

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL PROVINO

DATA DI PROVA	17/02/2016
DIMENSIONI	200x160x16 cm
MATERIALE	Abete austriaco, eps, acciaio
TIPO DI PROVA	Monotona su parete POREPAN
SCOPO DELLA PROVA	Determinazione della rigidità elastica, della forza e dello spostamento ultimi della parete POREPAN
VELOCITA' DI PROVA	Variabile: 1/0,5/0,25 cm/minuto

COMPORTAMENTO DEL PROVINO

Carico
F [kg]
4327

Spostamento laterale
d [cm]
3

TIPOLOGIA DI ROTTURA

Rottura duttile a trazione del bullone 8.8

Tab. 7.12 Riepilogo provino 4



Fig. 7.67 Parete lato A – inizio prova



Fig. 7.68 Parete lato A – durante



Fig. 7.69 Parete lato A – particolare nodo – inizio e fine prova

7.6 Confronto tra le prove

Confrontando le curve dei provini è possibile effettuare alcune considerazioni. Prima fra tutte, è che il sistema in assenza di controventature risulta essere labile: dalla curva emerge chiaramente che gli spostamenti registrati sono molto elevati anche quando la parete è soggetta a forze di bassa entità. La rigidezza elastica della parete in questo caso vale 50 kg/cm.

Quest'ultima cresce fino al valore di 550 kg/cm per il provino numero 1, caso in cui la parete viene controventata, senza però applicare alcuna pretensione alle funi. Il sistema quindi non è più labile, ma risulta molto deformabile. Il momento ultimo resistente della sezione di attacco a terra vale:

$$M_{U,RD} = F_{att} \times H = 25 \text{ kN} \times 2\text{m} = 50 \text{ kNm}$$

Il provino numero 3 è quello che è in grado di fornire prestazioni migliori fra tutti i provini appartenenti al gruppo 1, sia in termini di forza che di rigidezza. Per quanto concerne l'incremento di forza, ciò è dovuto alla sostituzione dell'elemento fusibile: non più una barra di acciaio dolce S355, ma un bullone M10 di classe 8.8. L'incremento di rigidezza, invece, è dovuto alla pretensione data alle funi. Ciò ovviamente comporta che la rigidezza laterale è maggiore rispetto al caso precedente ed è pari a 830 kg/cm. Il momento ultimo resistente della sezione di attacco a terra vale:

$$M_{U,RD} = F_{att} \times H = 40 \text{ kN} \times 2\text{m} = 80 \text{ kNm}$$

Nonostante le maggiori prestazioni fornite dal provino numero 3, il sistema così realizzato risulta ancora troppo deformabile.

Il provino che in assoluto ha prestazioni migliori è il numero 4. Quest'ultimo non presenta incrementi notevoli di resistenza dal momento che l'elemento fusibile è sempre un bullone M10 8.8, ma possiede una rigidezza di gran lunga superiore al provino numero 3, pari a 1800 kg/cm. Tale incremento è dato dalla sostituzione delle funi con barre filettate M27 di classe 4.8, che dimostrano quindi avere una deformabilità assiale più bassa. Il momento ultimo resistente della sezione di attacco a terra vale:

$$M_{U,RD} = F_{att} \times H = 42,5 \text{ kN} \times 2\text{m} = 85 \text{ kNm}$$

Tutto questo porta ad affermare che il contributo fornito dai vari pannelli POREPAN, seppur accoppiati e posti in aderenza l'un l'altro, in termini di rigidezza laterale è trascurabile. Ne consegue che gli unici elementi in grado di fornire adeguata rigidezza e resistenza nei confronti delle azioni orizzontali sono le funi e le barre, mentre i pannelli forniscono resistenza e rigidezza nei confronti dei soli carichi verticali.

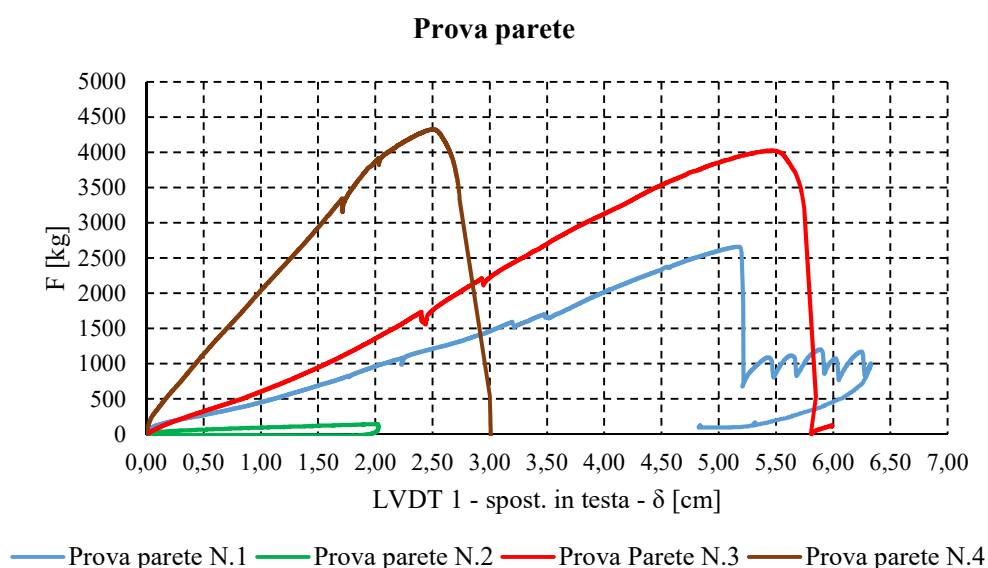


Fig. 7.70 Confronto diagrammi forza – spostamento

Altro aspetto che contraddistingue i provini risiede nella diversa modalità di crisi che si presenta nel provino 1 e nei provini 3 e 4. Nel primo caso, infatti, la crisi del sistema, sia a livello locale, che globale è di tipo fragile a causa dell'abrasione della filettatura della barra fusibile. Nel secondo caso, invece, la crisi si differenzia:

- A livello locale, si ha una crisi di tipo duttile del bullone M10 8.8;
- A livello globale la crisi è di tipo fragile.

Quanto appena detto è confermato dalle due curve riportate nella figura sottostante indicante l'innalzamento della traversa, che però corrisponde all'allungamento del bullone dal momento che è reso solidale con la stessa. Nel provino N.3 è stato possibile attingere alla riserva plastica del bullone in quanto non è stato serrato alla traversa con un unico dado, ma con un manicotto in grado di coprire tutto il gambo filettato, preservando quindi l'integrità della filettatura.

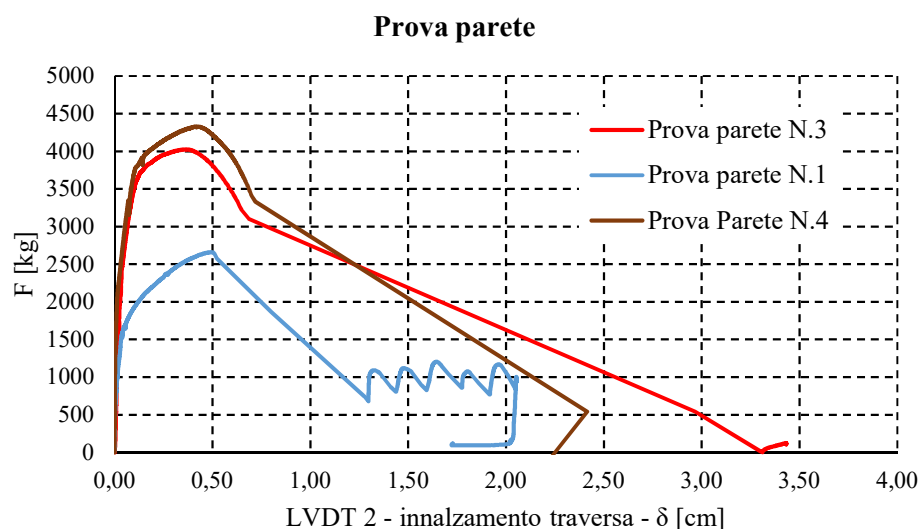


Fig. 7.71 Confronto diagrammi forza – innalzamento

La curva relativa l'innalzamento della traversa per il provino numero 2 non è stata riportata in quanto i valori registrati sono dell'ordine dei decimi di millimetro e quindi possono essere ritenuti trascurabili.

Volendo bi-linearizzare le curve sopra-riportate, facendo riferimento ad un comportamento ideale elastico perfettamente-plastico della parete adottando come forza di snervamento del sistema, quella in cui si ha l'attingimento dello sforzo plastico del bullone, le curve sarebbero le seguenti:

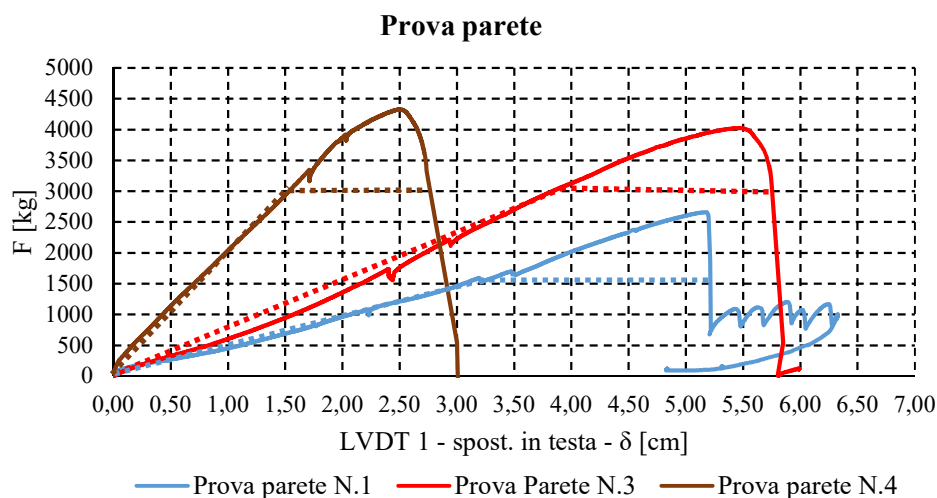


Fig. 7.72 Diagrammi forza – spostamento e curve bi-linearizzate

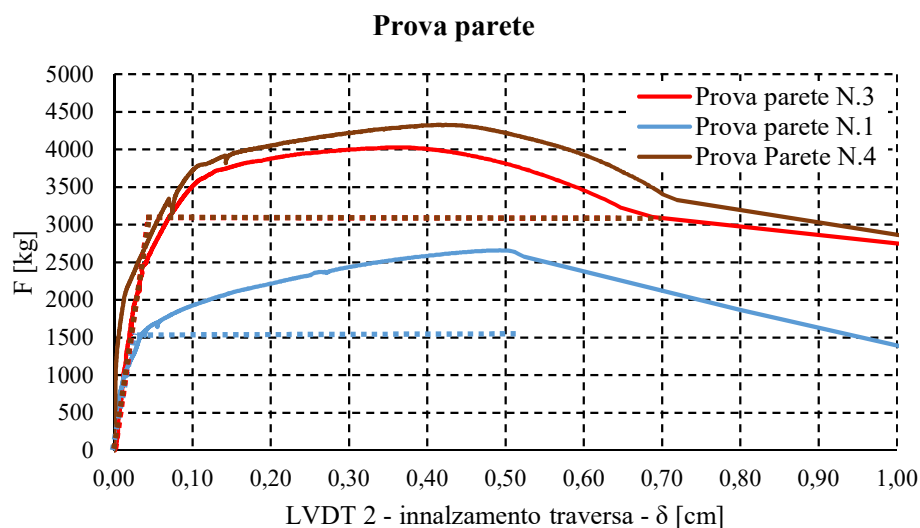


Fig. 7.73 Diagrammi forza – innalzamento e curve bi-linearizzate

Come già accennato in precedenza, il motivo per cui nei diagrammi forza - spostamento non sono visibili deformazioni plastiche può essere dovuto all'eccessiva deformabilità della parete. Si riporta di seguito una tabella in cui è riportata la duttilità a livello locale e globale, ricordando che tale duttilità è definita in due modi differenti:

- localmente come il rapporto tra allungamento ultimo del bullone e l'allungamento all'attingimento dello sforzo plastico;
- globalmente come il rapporto tra lo spostamento ultimo e lo spostamento allo snervamento.

Provino		δ_y [cm]	δ_u [cm]	χ_u [-]
1	Barra S355	0,04	0,5	12,5

	Parete	3,5	5,2	1,48
3	Bullone 8.8	0,04	0,68	17
	Parete	4	5,6	1,4
4	Bullone 8.8	0,04	0,72	18
	Parete	1,5	2,8	1,9

Tab. 7.13 Duttività dei provini testati

É possibile anche definire un coefficiente di sovrarresistenza, che ai fini della progettazione potrebbe essere utilizzato per ridurre le sollecitazioni agenti sulla parete per far riferimento piuttosto che ad un comportamento elastico lineare, ad un comportamento elastico perfettamente plastico definito dalle curve bi-linearizzate indicate in precedenza. Tale parametro viene definito come il rapporto tra la forza che porta al collasso il sistema e in corrispondenza della quale si ha la formazione dell'unico fenomeno di crisi, corrispondente allo snervamento del bullone.

Provino	F_y [kg]	F_u [kg]	F_y/F_u [-]
1	1640	2575	1,57
3	3000	4000	1,33
4	3000	4300	1,43

Tab. 7.14 Sovreresistenza dei provini testati

CAPITOLO 8

MODELLAZIONE E ANALISI NUMERICA

8.1. Introduzione

In questo capitolo verrà descritto il procedimento finalizzato alla produzione di un modello numerico tramite il programma di calcolo agli elementi finiti *SAP2000*. Gli obiettivi che si intendono perseguire sono molteplici e di seguito indicati:

- fornire uno strumento che possa essere utilizzato ai fini della progettazione di edifici in legno con pareti POREPAN il quale, ovviamente, deve rispecchiare la realtà sperimentale;
- effettuare analisi parametriche al variare della percentuale di armatura, della lunghezza di deformazione del bullone fusibile e del numero di diagonali presenti. Queste sono state condotte dopo aver fissato i carichi verticali, la deformazione ultima del legno e quella dell'acciaio;
- valutare la massima accelerazione sopportabile da una parete POREPAN, fornendo un giudizio in merito la rigidezza laterale.

Nella prima parte del presente capitolo verranno elencati tutti i procedimenti necessari alla creazione del modello numerico. Sarà poi riportata la curva forza – spostamento generata dal programma, in modo da effettuare un confronto con i dati sperimentali riportati nel capitolo 6 e validare il modello numerico appena creato.

In seguito, saranno riportate ulteriori curve forza – spostamento per valutare l'influenza della plasticizzazione del legno in direzione parallela o ortogonale e della presenza della diagonale in compressione.

In ultimo, facendo riferimento ad un edificio già realizzato, si effettueranno delle analisi statiche non lineari, *pushover*, per valutare la massima accelerazione sopportabile e stabilire se la rigidezza laterale è adeguata a soddisfare le verifiche relative la limitazione degli spostamenti laterali imposte dalla norma.

Siccome le curve sperimentali forza – spostamento sono differenti per i 5 provini testati, l'obiettivo della modellazione numerica è ottenere una curva che si avvicini il più possibile a quella del provino numero 4.

8.2. Modelli numerici al programma agli elementi finiti SAP2000

Le analisi sono state svolte con modelli complessi contenenti sia elementi bidimensionali di tipo *shell* sia elementi monodimensionali di tipo *frame*. Tutte sono state suddivise in due gruppi secondo la tabella riportata di seguito.

Gruppo	Modello	Finalità
1	1.1	Confronto con prova sperimentale e validazione del modello numerico
2	2.1	Analisi parametriche

Tab. 8.1. Modelli numerici creati

Il *gruppo 1* prevede la creazione di un modello numerico monopiano che fornisca una curva forza – spostamento prossima a quella sperimentale, garantendo quindi la validazione dello stesso.

Il *gruppo 2* ha l'obiettivo di valutare l'influenza dei carichi verticali e della plasticizzazione del legno in direzione ortogonale alla fibratura simulando il collegamento parete - fondazione e parate – solaio. Le analisi sono state condotte con carichi verticali pari a 2,88 ton corrispondente ad una σ pari a 2,25 kg/cm (valore derivante dall'analisi dei carichi allo S.L.E. effettuata nel capitolo 6). La deformazione ultima del legno in direzione ortogonale è stata imposta al 5%, mentre quelle dell'acciaio è stata impostata pari al 11%. I parametri che variano sono:

- percentuale di armatura;
- numero di diagonali.

Il limite del 5% deriva da studi effettuati dal Prof. Calderoni et al. nell'anno 2013, mentre il limite dell'11% deriva dal voler limitare le deformazioni dell'acciaio alla fine dell'incrudimento.

8.3. Modellazione meccanica e geometrica

Nella realizzazione del modello di calcolo particolare importanza è stata posta nella definizione del materiale da assegnare alle varie parti, al fine di tener conto della specificità del pannello POREPAN (doppio tavolato di legno, classe C24, con interposto isolante termico EPS) e dei sistemi di connessione meccanica tra i pannelli e tra pannelli e fondazione. Di seguito verranno elencati tutti gli step che hanno portato alla realizzazione del modello numerico:

- *Step 1:* Creazione dei materiali

La parete è costituita da pannelli lignei ed elementi in acciaio, pertanto sono stati creati questi materiali:

Materiale	Tipo	E [MPa]	ν [-]
Acciaio	Isotropo	210000	0,3
Legno - pannelli	Isotropo	10000	0,3
Legno - solaio	Isotropo	370	0,3

Tab. 8.2. Materiali creati all'interno dell'ambiente di lavoro del programma SAP2000

I dati sopra riportanti potrebbero risultare errati in quanto è noto che il legno non è un materiale isotropo, ma, in questo specifico caso, è giusta la siffatta modellazione dato che i pannelli POREPAN sono sollecitati solo in direzione longitudinale. Il modulo E indicato in

tabella 7.2. è il modulo elastico parallelo alla fibratura, E_0 , per il materiale “Legno – pannelli” mentre corrisponde al modulo elastico ortogonale alla stessa, E_{90} , per il materiale “Legno – solaio”.

Il primo dei due materiali lignei è stato utilizzato nel modello 1.1, il secondo nel modello 2.1;

- *Step 2: Creazione delle sezioni per gli elementi shell e frame*
 - Per gli elementi di tipo shell è stata creata un’*Area section* di spessore 8 cm di tipo *shell – thick*. Tale modellazione consente al programma di tener conto sia delle deformazioni flessionali sia di quelle taglienti. In virtù di quanto appena detto lo spessore assegnato per il comportamento a piastra (elemento caricato ortogonalmente al piano medio) e lastra (elemento caricato nel piano medio) è lo stesso e pari a 8 cm. Il materiale assegnato a tali elementi è “Legno-pannelli”. Rispetto alla parete reale lo spessore è ridotto in quanto non è stato considerato lo strato di EPS ai fini della modellazione, pertanto l’ipotesi alla base è che quest’ultimo non contribuisca in alcun modo sia in termini di resistenza che di rigidità laterale.
 - Per gli elementi di tipo frame sono state create differenti sezioni:
 - Sezione circolare di diametro 0,874 cm corrispondente all’area netta resistente del bullone M10 utilizzato durante le prove sperimentali. A tale sezione è stato assegnato il materiale “Acciaio”;
 - Sezione circolare di diametro 2,0 cm corrispondente all’area netta resistente della barra M27 utilizzata durante le prove sperimentali. A tale sezione è stato assegnato il materiale “Acciaio”;
 - Sezione a “C” avente le dimensioni effettive delle trave in acciaio effettivamente presenti all’interno della parete, riportate nel capitolo precedente. A tale sezione è stato assegnato il materiale “Acciaio”;
 - Sezione rettangolare di dimensione 10 cm x 8 cm per simulare il contatto legno – acciaio e legno - legno. A tale sezione è stato assegnato il materiale “Legno -pannelli” nel modello 1.1 e “Legno – solaio” nel modello 2.1;
 - Sezione rettangolare di dimensione 5 cm x 8 cm per simulare il contatto legno – acciaio e legno - legno. A tale sezione è stato assegnato il materiale “Legno -pannelli” nel modello 1.1 e “Legno – solaio” nel modello 2.1;
 - Sezione rettangolare di dimensione 10 cm x 4 cm per simulare il contatto legno – acciaio e legno - legno. A tale sezione è stato assegnato il materiale “Legno -pannelli” nel modello 1.1 e “Legno – solaio” nel modello 2.1;
- *Step 3: Rappresentazione del modello*

Dopo aver definito materiali e sezioni, ed aver associato gli uni agli altri, è stato disegnato il modello. All’interno della finestra di lavoro del programma sono stati inseriti 8 elementi shell alti 2 metri, lunghi 20 cm e distanziati tra loro di 1 cm. Ciò comporta che la lunghezza complessiva della parete non è 1,60 metri, ma 1,67 metri. Tale incremento di lunghezza

discende da osservazioni empiriche: durante lo svolgimento delle prove è stato registrato uno scorrimento relativo tra i vari pannelli, ottenuto all'interno del modello numerico distanziando gli shell tra di loro. La rappresentazione di quest'ultimi si è conclusa al seguito della definizione della *mesh* che, per ridurre l'onore computazionale, è stata posta pari a 10 cm x 10 cm.

In corrispondenza dei punti medi degli shell, sia nella parte superiore che inferiore, sono stati inseriti degli elementi frame di tipo rigido, lunghi 1 cm, con rilasci di tipo M2 ed M3 nel punto di contatto con gli stessi. A seguire, sono stati inseriti elementi frame rappresentati le traverse in acciaio, schematizzate come travi continue su più appoggi: gli elementi frame rigidi sopra descritti. A tali traverse, ai due estremi, sono stati assegnati dei rilasci di tipo M2 ed M3. Il passo successivo è stato quello di rappresentare gli elementi frame per simulare il contatto legno – acciaio, nel modello 1.1, e legno – legno, nel modello 2.1. Quest'ultimi sono lunghi 10 cm nel primo modello, 16 cm nel secondo (perché il solaio POREPAN è realizzato da pannelli di altezza 16 cm), ed in entrambi i casi sono stati assegnati rilasci di tipo M2 ed M3 alle estremità. Infine, sono stati inseriti un elemento frame, rappresentante le diagonali in acciaio, con rilasci di tipo M2 ed M3 alle estremità, che si agganciano agli elementi frame rappresentanti i perni M24 e dei carrelli che impediscono la traslazione orizzontale in corrispondenza dell'estremità della traversa e dell'ultimo nodo dell'ultimo pannello.

- *Step 4: Definizione delle condizioni di carico*

Le condizioni di carico sono diverse per i due modelli, in particolare:

- nel modello 1.1 sono state applicate delle forze orizzontali unitarie, incrementate fino al collasso durante le analisi svolte, in corrispondenza dei punti medi degli shell. In questo modo è stata simulata la stessa condizione di carico della prova sperimentale;
- nel modello 2.1. è stata assegnata la stessa forza orizzontale definita nel modello 1.1., a cui sono stati aggiunti i carichi gravitazionali in corrispondenza dei nodi superiori di ogni shell. Questi sono stati distribuiti per area di influenza.

- *Step 5: Definizione dei constraint*

Per entrambi i modelli sono stati definiti due constraint di tipo “*EQUAL*”: *EQUAL_1* e *EQUAL_2*. Questi, ai nodi a cui vengono assegnati, impongono di avere uno o più gradi di libertà uguali. Nel caso in esame viene imposto lo stesso spostamento orizzontale. Il primo è stato assegnato a tutti i nodi superiori degli shell e all'estremo superiore della diagonale in acciaio, il secondo è stato assegnato ai nodi costituenti la traversa.

- *Step 6: Definizione di non linearità meccaniche*

Per simulare l'innalzamento della parete dal supporto, a tutti i frame che simulano il contatto, sia nel modello 1.1 sia nel modello 2.1, sono stati assegnati dei limiti di resistenza in trazione pari a 0,0001 kg. Ciò comporta che nel momento in cui lo sforzo di trazione registrato dal programma raggiunge un valore maggiore o uguale al limite assegnato, lo stesso non verrà considerato

durante l'analisi. Pertanto lo sforzo agente, qualora di trazione, risulterà uguale al limite assegnato.

Un procedimento analogo è stato effettuato per il bullone nel modello 2.1.. Questa volta però, è stato assegnato un limite di resistenza in compressione pari a -0,0001 kg in modo da permettere il trasferimento dei carichi verticali solo attraverso gli elementi lignei e non tramite quest'ultimo.

Lo stesso limite di resistenza è stato assegnato anche alla diagonale in acciaio.

- *Step 7: Definizione delle cerniere plastiche*

Per poter cogliere il comportamento non lineare del legno in direzione ortogonale alle fibre e dell'acciaio, sono state definite tre cerniere plastiche: *Legno_90*, *Bullone* e *Diagonali*. La prima delle tre è stata assegnata agli elementi frame che simulano il contatto legno – legno ad una lunghezza relativa di 0,5. Il comportamento della cerniera plastica è definito dal diagramma di seguito indicato.

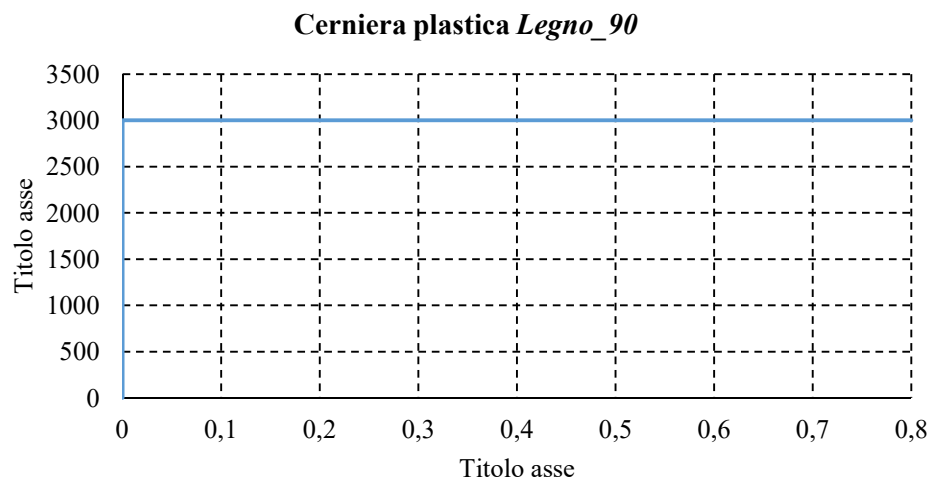


Fig. 8.1 Comportamento cerniera plastica *Legno_90*

La seconda cerniera plastica è assegnata all'unico elemento fusibile di tutta la parete, ovvero al bullone M10 8.8, ad una lunghezza relativa di 0,5. Il comportamento della cerniera plastica è definito dal diagramma di seguito indicato.

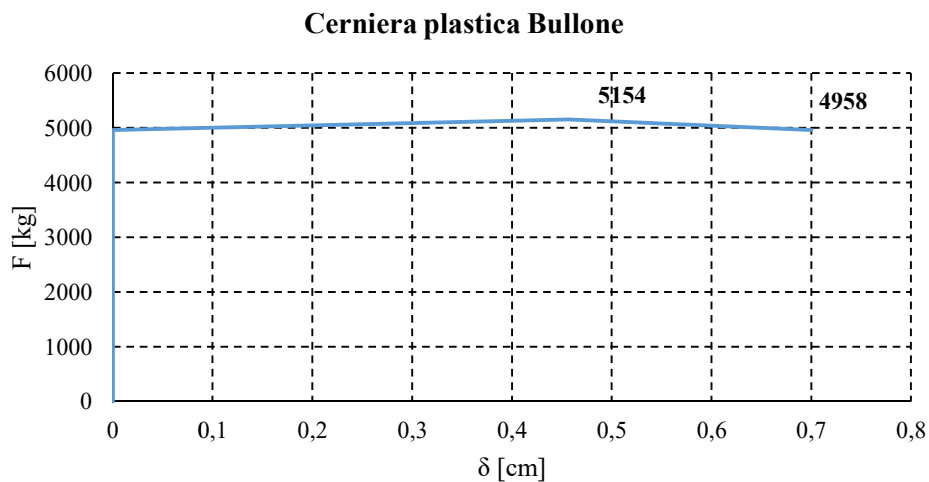


Fig. 8.2 Comportamento cerniera plastica *Bullone*

La terza ed ultima cerniera plastica è stata assegnata alla diagonale, sempre ad una lunghezza relativa di 0,5. Il comportamento della cerniera plastica è elasto – fragile, ovvero al momento dell’attivazione si suppone che le diagonali siano rotte.

Si precisa che i valori indicati nei vari diagrammi fanno riferimento a valori di resistenza caratteristici e non di progetto.

Il modello nel complesso è indicato nella figura di seguito riportata.

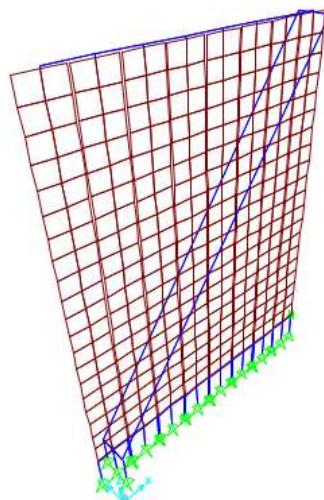


Fig. 8.3 Modello numerico realizzato con SAP2000

8.4. Risultati delle analisi

Si riportano di seguito le curve forza - spostamento per entrambi i modelli.

Risultati modello 1.1 e confronto con dati sperimentali

Si riportano di seguito la curve forza spostamento generata dal programma e quella sperimentale al fine di poter effettuare un confronto tra le due.

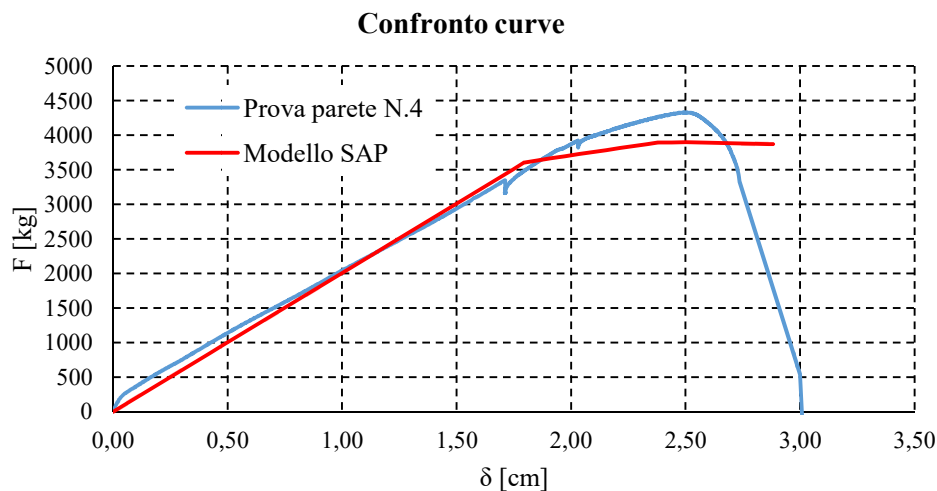


Fig. 8.4 Curve forza – spostamento modello numerico e prova sperimentale

Il confronto deve essere effettuato sia in termini di rigidezza che di forza ultima raggiunta. In merito al primo punto, il modello numerico presenta una rigidezza pressoché simile a quella sperimentale. Si può quindi concludere che lo scarto di rigidezza presente tra le due curve è accettabile.

Il valore ultimo della forza deriva dal modo in cui viene definito il comportamento plastico dei vari elementi, che comunque non riusciranno mai a cogliere il valore esatto della resistenza reale.

Si può quindi concludere che, anche se suscettibile di future modifiche e accorgimenti, il modello numerico creato è accettabile.

Risultati modello 2.1

Prima di riportare i diagrammi ottenuti dalle analisi parametriche, si precisa che nei vari modelli analizzati, quelli per i quali il numero delle diagonali è doppio rispetto al modello 1.1, le barre filettate M27 sono state sostituite da piatti di acciaio di sezione 5cm x 1cm. L'ipotesi alla base di tale modellazione è che questi non si instabilizzano quando soggetti a sforzi di compressione. Per chiarezza di discorso si riporta di seguito un'immagine del modello numerico con doppia diagonale.

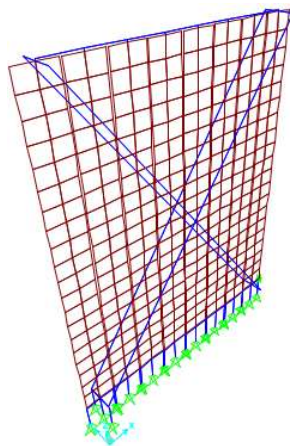
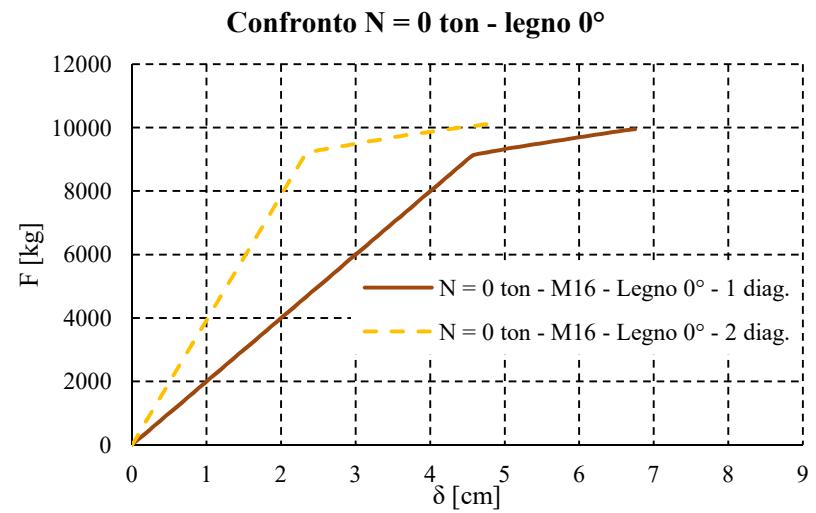
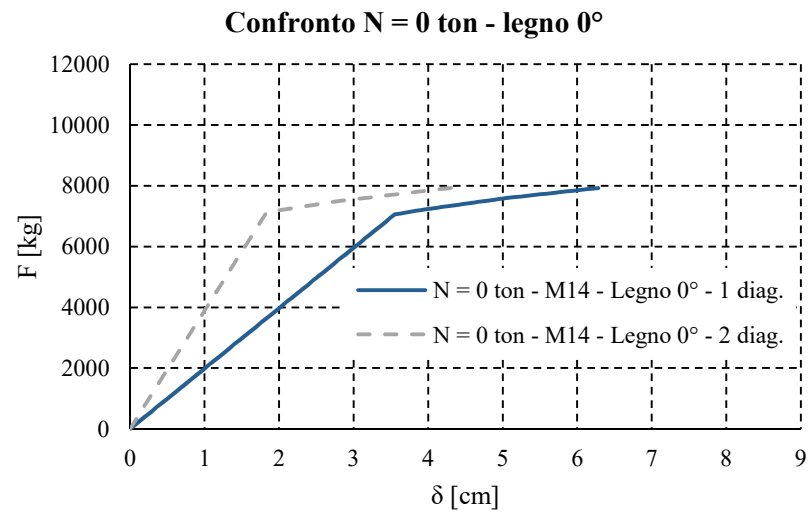
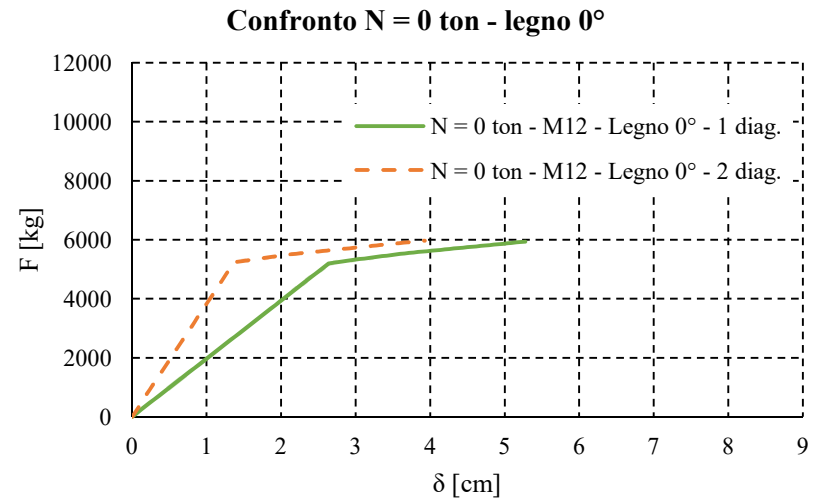
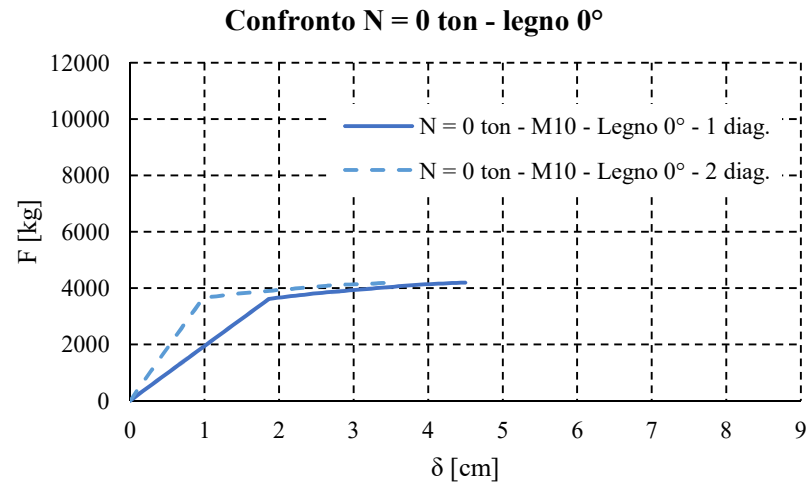
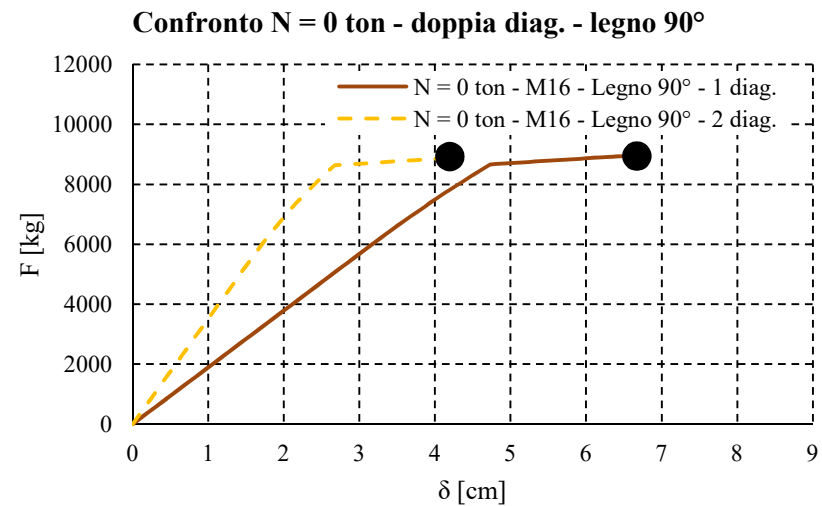
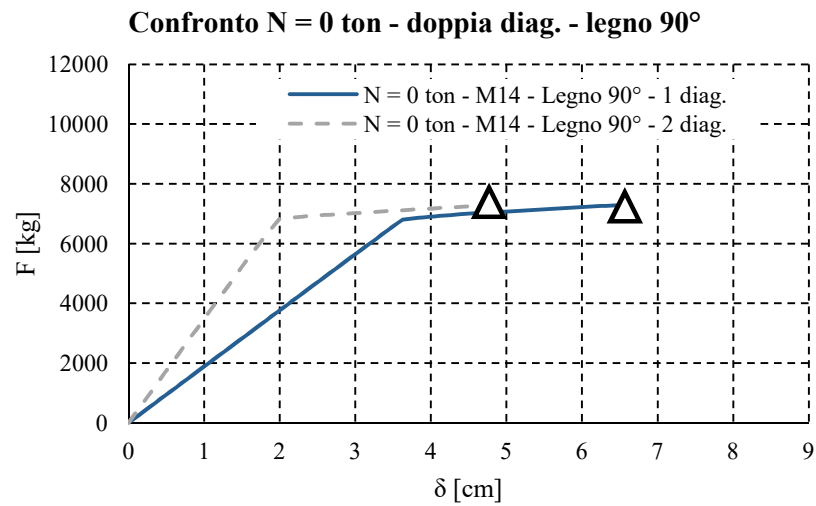
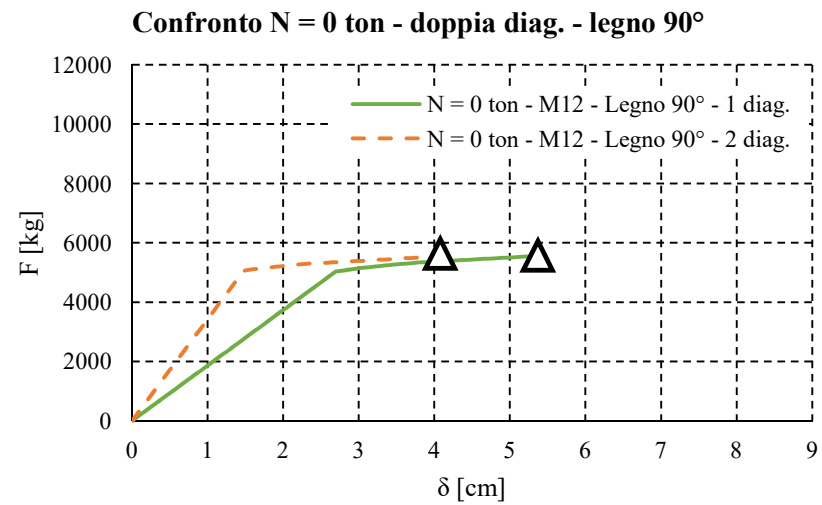
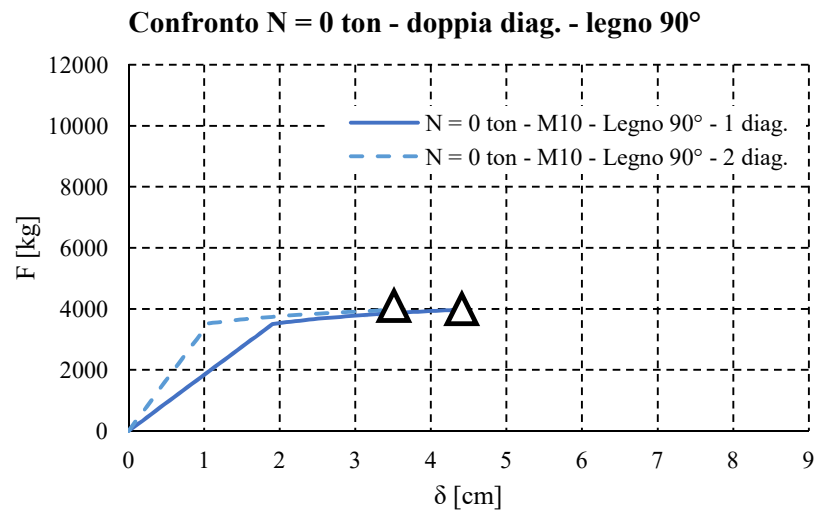


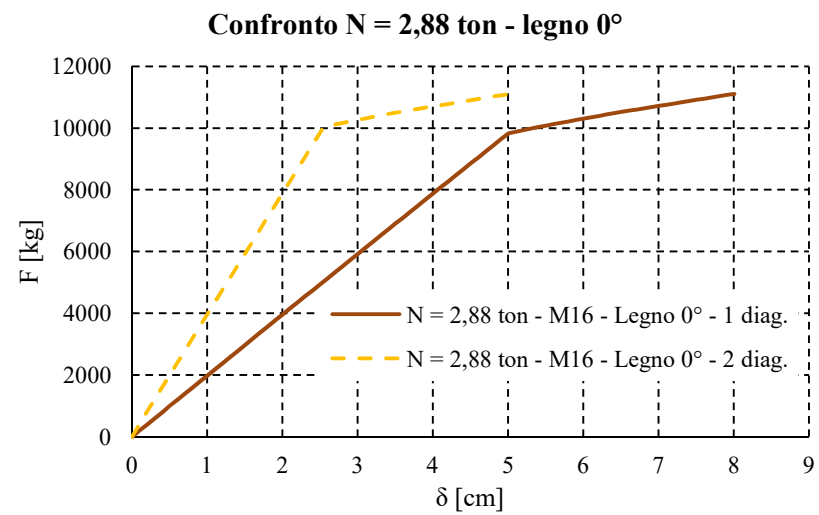
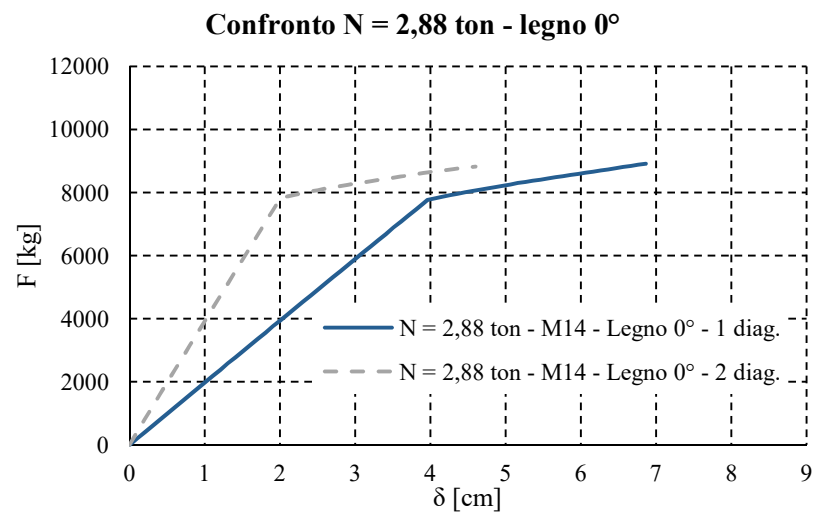
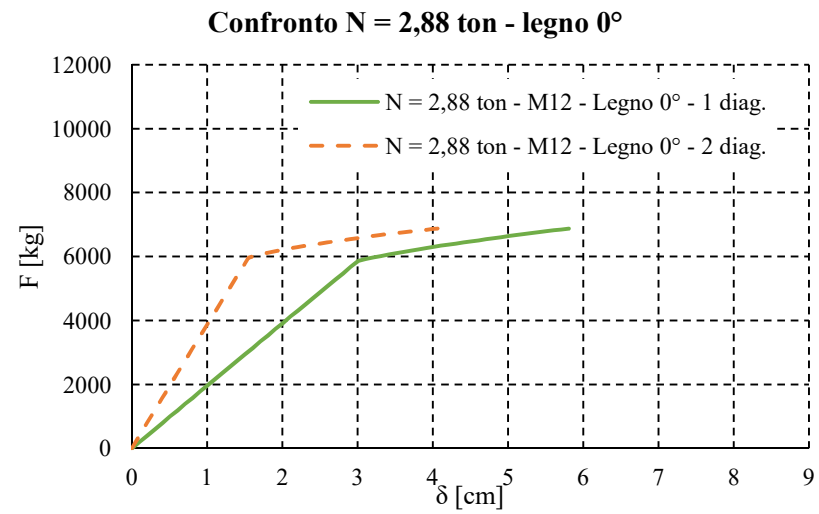
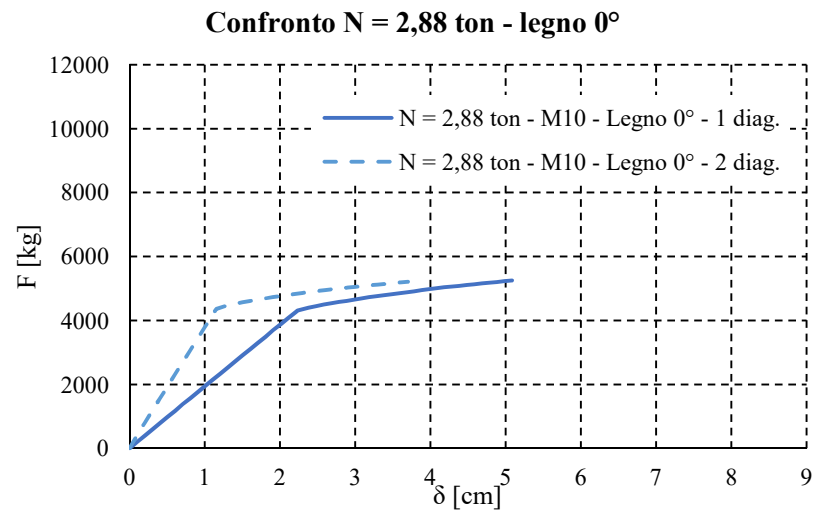
Fig. 8.5 Modello numerico della parete POREPAN con doppia diagonale

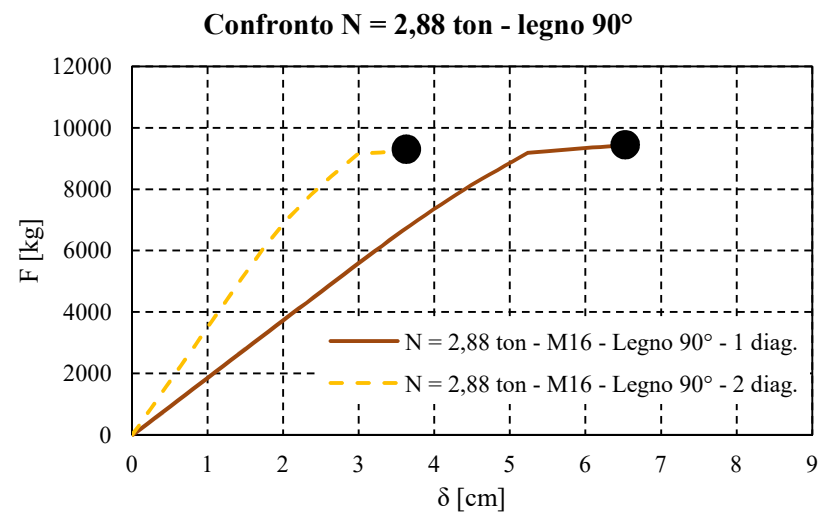
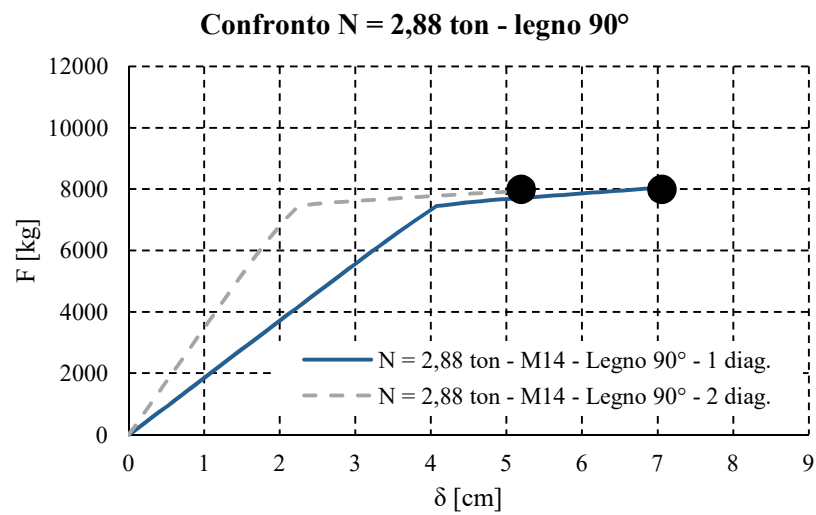
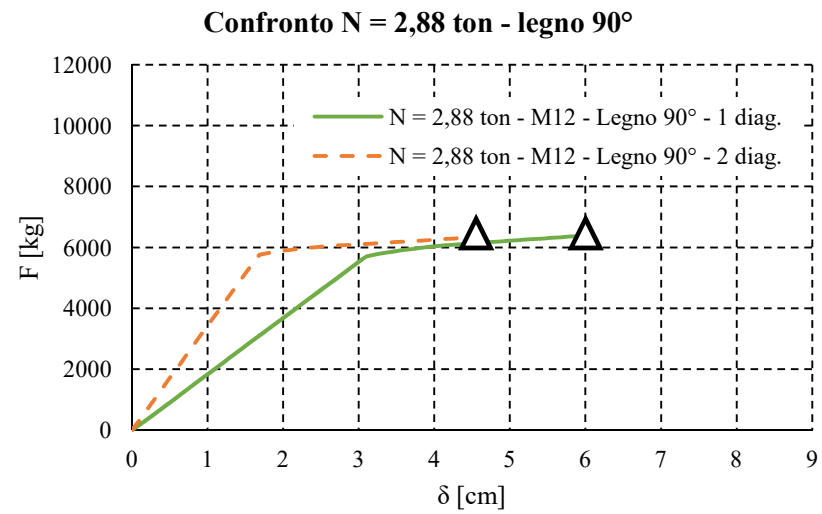
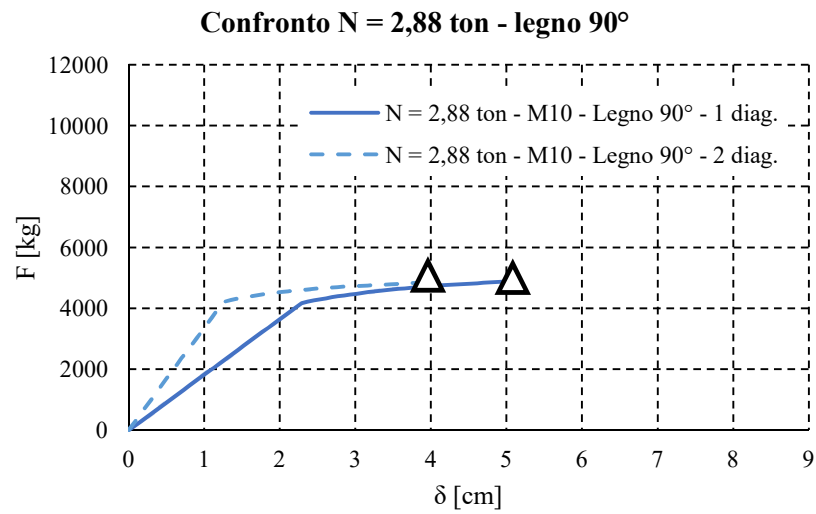
Si precisa, inoltre, che è stata utilizzata la resistenza caratteristica del legno in direzione ortogonale riportata nelle indicazioni del C.N.R. per un legno di classe C24, moltiplicata per il parametro K_{90} , pari ad 1,5, per tener conto dell'effetto timbro.

Di seguito si riportano le curve forza - spostamento ottenute in seguito alle analisi parametriche svolte. Con il simbolo “ Δ ” ci si riferisce al collasso lato acciaio, mentre con il simbolo “ \bullet ” ci si riferisce al collasso lato legno.









Primo aspetto che emerge chiaramente dall'analisi delle curve sopra riportate è che la presenza della diagonale in compressione rende il sistema più rigido, quasi del doppio. Tale incremento di rigidezza si mantiene costante anche nel caso di carichi gravitazionali diversi da zero. Inoltre, aumentando la percentuale di armatura, aumenta anche la forza che determina il collasso del sistema. Questo parametro, però, non è influenzato dalla presenza della doppia diagonale che, come già detto in precedenza, determina un solo incremento di rigidezza, ma dall'entità dei carichi verticali. Si può quindi affermare che la forza ultima è influenzata sia dalla percentuale di armatura che dall'entità dei carichi gravitazionali.

Per ciò che concerne le modalità di collasso, tutto dipende da come è schematizzato il contatto della parete con il supporto. Nel caso in cui quest'ultimo simula il collegamento parete - fondazione, il legno sarà sollecitato in direzione parallela alle fibre, non potrà plasticizzarsi e la crisi avverrà sempre lato acciaio. Se al contrario il contatto della parete simula il collegamento parete – solaio o comunque si ipotizza che la parete sul piano campagna poggi su un dormiente in legno, quest'ultimo sarà sollecitato in direzione ortogonale alla fibratura e pertanto la crisi potrà ricadere in un uno di questi tre casi:

- crisi lato acciaio;
- crisi lato legno;
- rottura bilanciata acciaio – legno.

Aumentando la percentuale di armatura e i carichi gravitazionali è sempre più probabile che la crisi avvenga lato legno con l'acciaio ancora in campo elastico. Ciò evidenzia che la duttilità del sistema è influenzata dalla modalità di collasso che si manifesta.

Come ultima indagine è stato realizzato anche uno schema più semplice, a maglia triangolare, dal momento che come mostrato dalle analisi sperimentali descritte nel capitolo 6 la parete in assenza di diagonali risulta labile. Il motivo risiede nella volontà di fornire uno strumento di più rapida implementazione e più facile comprensione da fornire ai progettisti. Ciò comporta che quando la parete è sollecitata da azioni orizzontali gli unici pannelli POREPAN che ne risentono sono quelli di estremità. Lo schema è indicato nella figura di seguito riportata.

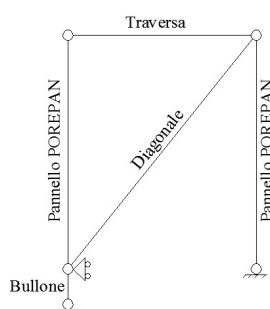


Fig. 8.6 Modello numerico semplificato della parete POREPAN con singola diagonale

Le analisi svolte su questo modello semplificato hanno condotto agli stessi risultati delle analisi svolte sul modello più complesso a patto di considerare una deformabilità elastica aggiuntiva derivante dall'inflessione dei perni M24 a cui si agganciano le diagonali.

8.5. Analisi di vulnerabilità sismica

Una volta eseguite tutte le analisi di cui sopra, è stata effettuata un'analisi di vulnerabilità sismica di una parete POREPAN al fine di valutare la massima a_g sopportabile.

Le fasi in cui è stata suddivisa questa indagine sono:

- Costruzione dello spazio ADRS (*Acceleration Displacement Response Spectra*) per varie PGA (*Peak Ground Acceleration*);
- Conversione del modello numerico in un SDOF (*Single degree of freedom*) equivalente tramite bilinearizzazione della curva di pushover ottenuta dalle analisi numeriche effettuate, secondo le indicazioni riportate nell'appendice B dell'EC – 8;
- Calcolo del periodo di vibrazione T^* dell'SDOF equivalente;
- Trasformazione di coordinate della curva bilinearizzata (da $F - \delta$ a $S_a(T^*) - S_d(T^*)$);
- Rappresentazione delle curva bilinearizzata con le coordinate appena modificate all'interno dello spazio ADRS con determinazione dei punti di funzionamento del sistema "parete POREPAN";
- Calcolo della duttilità richiesta e disponibile.

La parete analizzata è di seguito riportata:

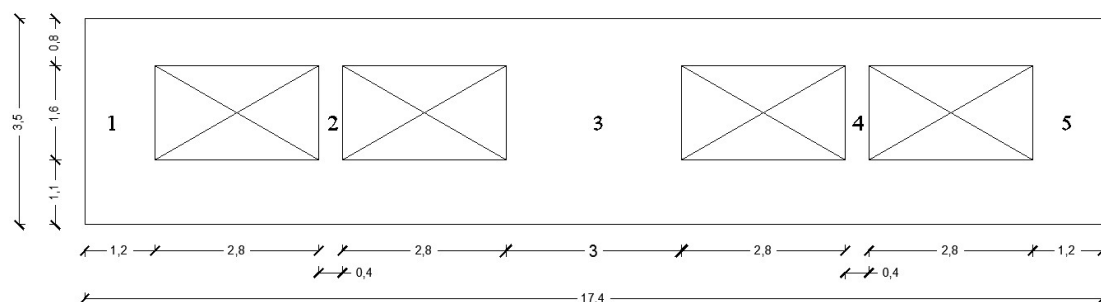


Fig. 8.7 Parete analizzata

L'analisi è stata svolta considerando come elemento fusibile un bullone M10 8.8, carico verticale nullo e ipotizzando il contatto legno – fondazione. Il calcolo della massima a_g sopportabile è stata effettuata sia nel caso di lunghezza libera di deformazione del bullone pari a 4 cm sia pari a 16 cm. In entrambi i casi si è ipotizzato che entrambi le diagonali fossero attive e avessero una sezione di acciaio pari a $5\text{ cm} \times 1\text{ cm} = 5\text{ cm}^2$

Modello numerico adottato

L'analisi sulla parete non è stata effettuata con il modello numerico creato in precedenza, ma con uno semplificato a mensole equivalenti poste in corrispondenza delle linee d'asse dei maschi della parete stessa.

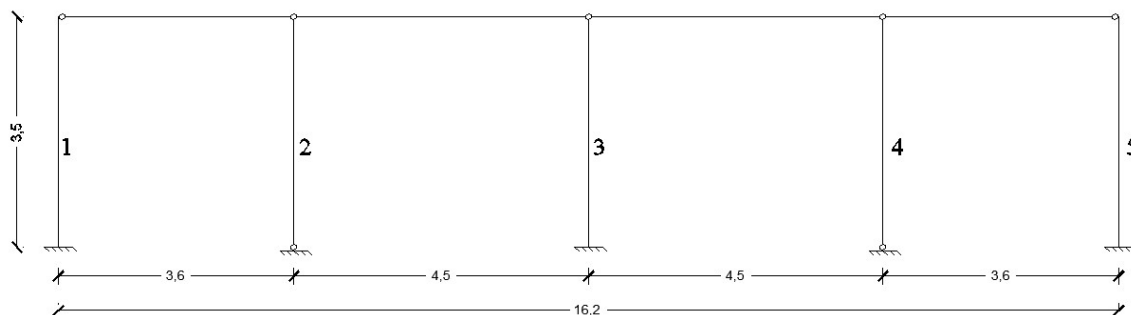


Fig. 8.8 Modello numerico semplificato – mensole equivalenti

Le sezioni e il materiale assegnati ai vari elementi sono i seguenti:

ELEMENTO	SEZIONE [cm]	MATERIALE	E [MPa]	ν [-]
1	56,3 x 8	Legno	10000	0,3
2	40 x 8	Legno	10000	0,3
3	96,3 x 8	Legno	10000	0,3
4	40 x 8	Legno	10000	0,3
5	56,3 x 8	Legno	10000	0,3

Tab. 8.3 Caratteristiche elementi frame

L'equivalenza tra i maschi della parete e le mensole equivalenti è ottenuta realizzando tanti modelli numerici quanti sono i maschi. A questo punto, note le curve forza- spostamento per ognuno si è considerato lo schema statico di una mensola soggetta sollecitata da una forza in punta. Siccome dalle curve sono noti la forza e il relativo abbassamento prodotto, è stata ricavata una rigidezza flessionale equivalente. Fissato il materiale, quindi il modulo elastico, e la base della sezione, 8 cm, è stata ricavata l'altezza. In questo modo lo spostamento in testa del maschio e quello della mensola in punta sono uguali qualunque sia l'entità della forza fino al limite elastico.

Le non linearità sono tenute in conto tramite delle cerniere plastiche a flessione assegnate alla base delle mensole. Il comportamento è definito nel diagramma di seguito riportato.

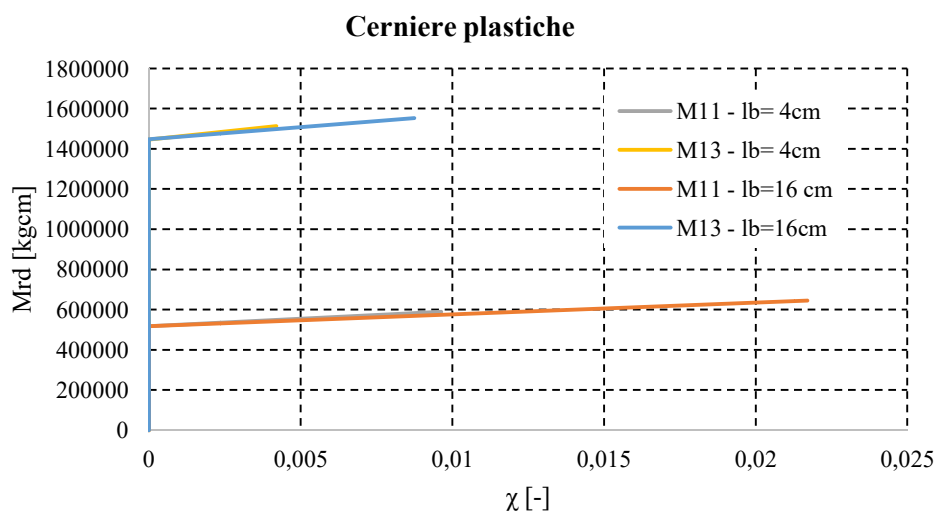


Fig. 8.9 Comportamento cerniere plastiche

Il momento di attivazione della cerniera è stato ottenuto moltiplicando la forza orizzontale, considerata nello step di carico in cui si ha lo snervamento del bullone, per l'altezza della parete. Il

momento ultimo è stato calcolato allo stesso modo, ma facendo riferimento alla condizione di collasso.

I valori di rotazione sono stati ottenuti considerando la rotazione rigida della parete allo snervamento e al collasso.

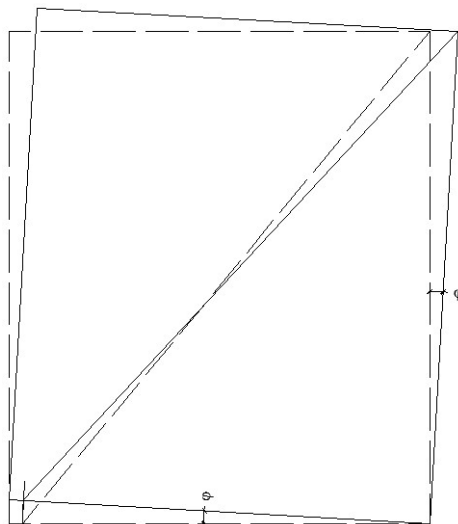


Fig. 8.10 Schema di ribaltamento semplificato della parete POREPAN

Costruzione dello spazio ADRS per varie PGA

Le curve appartenenti a tale diagramma sono costituite da punti le cui coordinate sono i valori di pseudo – accelerazione e pseudo – spostamento a cui una struttura è sottoposta al variare del periodo di vibrazione T , fissata una PGA. Pertanto, per poterle diagrammare è necessario determinare prima gli spettri di risposta di accelerazione e spostamento.

I dati di input e le ipotesi alla base sono le seguenti:

- PGA utilizzate: 0,10g, 0,15g, 0,20g e 0,25g;
- Suolo di tipo A;
- Coefficiente $\eta = 1$: coefficiente correttivo dello smorzamento pari ad 1 per uno smorzamento viscoso del 5%);
- $S = 1$: coefficiente amplificativo della risposta dell'edificio dipendente dalle caratteristiche del terreno.

L'aver supposto che il terreno sia di tipo A comporta che i periodi fondamentali che definiscono la forma spettrale sono i seguenti:

T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
0,15	0,4	2

A questo punto è possibile riportare nello spazio ADRS le pseudo accelerazioni e gli pseudo spostamenti al variare del periodo T .

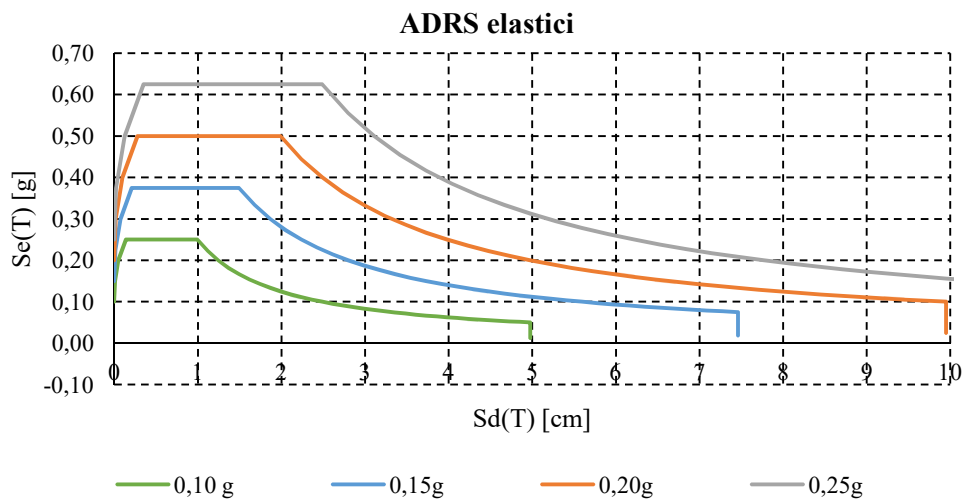


Fig. 8.11 Spazi ADRS per varie PGA

Si precisa che gli spettri di accelerazione e spostamento sono stati ottenuti seguendo le indicazioni riportate nell' EC – 8.

Conversione del modello numerico in un SDOF

Per bilinearizzare le curve ottenute dalle analisi, si è fatto uso delle indicazioni riportate nell'appendice B dell'Eurocodice 8. A tal proposito è riportato: “La massa di un sistema SDOF equivalente m^* è determinata come:

$$m^* = \sum m_i \phi_i^2 = F_i$$

La forza F^* e lo spostamento d^* di SDOF equivalente sono calcolati come”:

$$F^* = \frac{F_b}{\Gamma}$$

$$d^* = \frac{d_n}{\Gamma}$$

Dove:

- Γ è il fattore di partecipazione modale, definito come segue: $\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \phi_i^2} = \frac{\sum F_i}{\sum \left(\frac{F_i^2}{m_i} \right)}$;
- F_b e d_n sono rispettivamente la forza di taglio alla base e lo spostamento del nodo di controllo del sistema a più gradi di libertà (MODF: *Multi Degree Of Freedom*).

Dal momento che si sta analizzando una singola parete, si è ipotizzato che quest'ultima fosse già un SDOF e pertanto il fattore di partecipazione modale tramite cui avviene la conversione è stato posto pari ad 1.

A questo punto si può tracciare la curva $F - \delta$ rappresentativa del comportamento dell'SDOF equivalente, tramite uguaglianza delle aree sottese alle due curve. A tal proposito l'EC-8 riporta: “La forza di snervamento F^* , che rappresenta anche la resistenza ultima del sistema idealizzato, è uguale alla forza di taglio alla base in corrispondenza della formazione del meccanismo plastico. La

rigidezza iniziale del sistema idealizzato è determinata in modo tale che le aree sotto le curve forza - deformazione reale e idealizzata siano uguali” (Fig. 7.10)

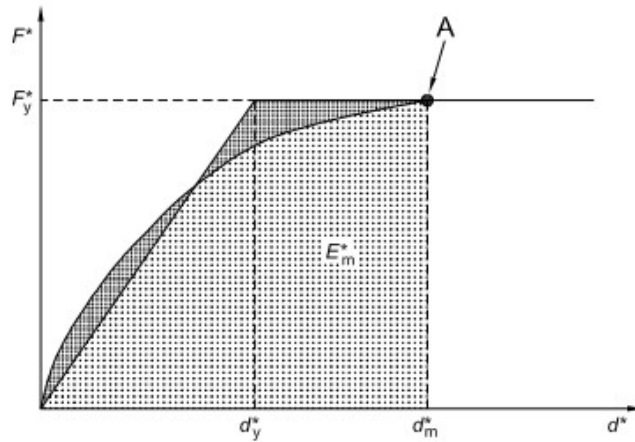


Fig. 8.12 Esempio di bilinearizzazione

Lo spostamento allo snervamento, d_y^* , ottenuto uguagliando le aree sottese alle due curve, è dato dalla seguente relazione:

$$d_y^* = 2 * \left(d_m^* - \frac{E_m^*}{F_y^*} \right)$$

Dove:

- E_m^* è l'energia di deformazione reale fino alla formazione del meccanismo plastico (punto A).

7.5.4. Calcolo del periodo di vibrazione T^* dell'SDOF equivalente

Per calcolare il periodo di vibrazione dell'SDOF equivalente sono state seguite le indicazioni riportate nell'EC – 8:

Il periodo T^ del sistema SDOF equivalente idealizzato è determinato da:*

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^*}{K^*}} = 2\pi \sqrt{\frac{m^* d_y^*}{F_y^*}}$$

In base a quanto appena riportato bisogna quindi definire la massa e la rigidezza.

Relativamente il primo parametro, si è fatto riferimento ad un edificio tipo con interasse tra le pareti pari a 4,5 metri. La lunghezza della parete analizzata è 17,4 m con un peso a metro quadro del solaio, in condizione sismica, pari a:

$$q_{\text{Solaio, SLE}} = 4 \text{ kN/m}^2$$

La massa sismica si ottiene dividendo il peso appena calcolato per l'accelerazione di gravità g , mentre la rigidezza dell'SDOF equivalente è facilmente calcolabile come il rapporto tra la forza che ne determina lo snervamento e il corrispondente spostamento. Noti questi due parametri è possibile determinare il periodo dell'SDOF.

Trasformazione di coordinate della curva bilinearizzata

Per poter determinare i punti di funzionamento del sistema analizzato, bisogna riportare la curva bilinearizzata all'interno dello spazio ADRS. Dal momento che le coordinate del suddetto spazio sono $S_a(T)$ e $S_d(T)$ per poter rappresentare tutto nello stesso grafico, è necessario effettuare un cambiamento di coordinate. Volendo essere ancora più specifici, bisogna scalare le ordinate del diagramma della curva bilinearizzata, cioè i valori del taglio agente alla base dell'SDOF, per la massa m^* di quest'ultimo in modo da ottenere la pseudo-accelerazione che investe l'SDOF.

Determinazione degli spostamenti richiesti

Vengono di seguito riportati vari diagrammi per le due analisi svolte e una tabella riepilogativa degli spostamenti richiesti e capaci, della duttilità richiesta e disponibile.

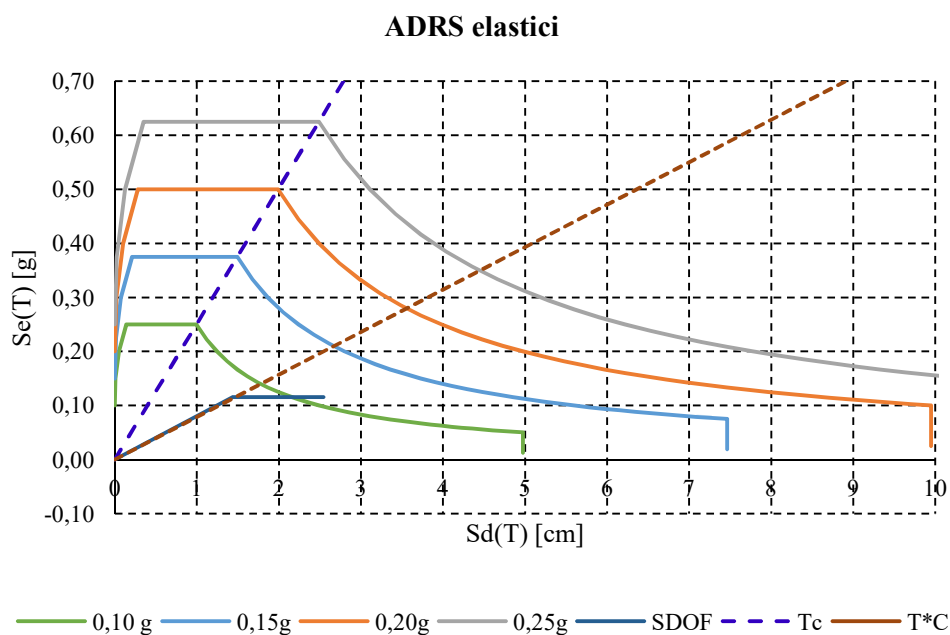


Fig. 8.13 Vulnerabilità per il caso $l_b = 4$ cm

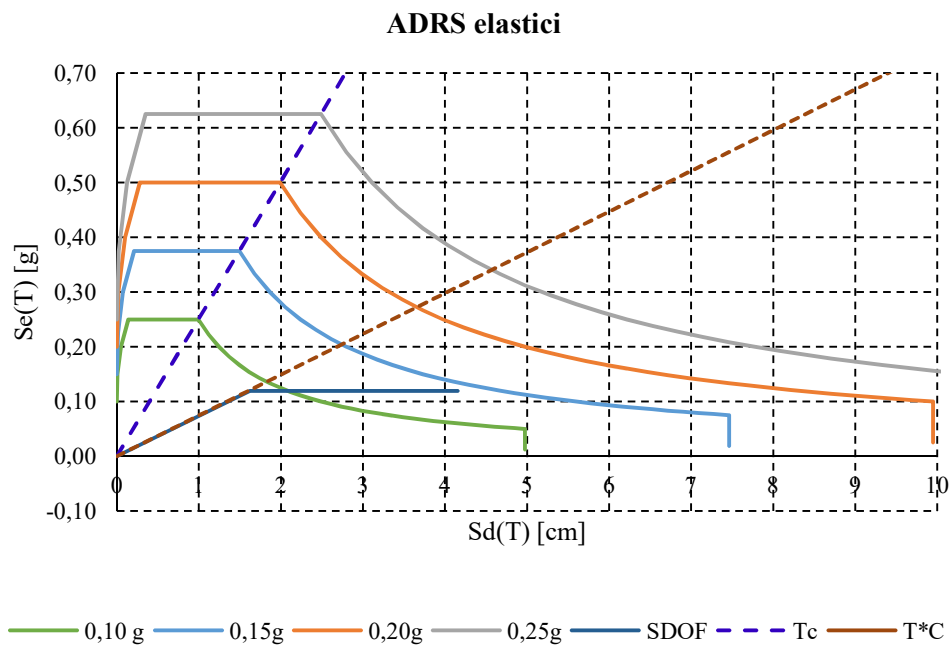


Fig. 8.14 Vulnerabilità per il caso $l_b = 16$ cm

Caso	a_g [g]	δ_R	δ_y	δ_U	μ	μ_R	μ / μ_R
$L_b = 4$ cm	0,10	1,77	1,43	2,54	1,77	1,23	1,44
	0,15	2,65				1,85	0,96
	0,20	3,53				2,47	0,72
	0,25	4,42				3,09	0,57
$L_b = 16$ cm	0,10	1,84	1,62	4,15	2,56	1,13	2,26
	0,15	2,76				1,70	1,50
	0,20	3,68				2,27	1,13
	0,25	4,60				2,84	0,90

Tab. 8.4 Riepilogo duttilità richiesta e disponibile

Dall'analisi condotta emerge che la lunghezza dell'elemento fusibile influenza notevolmente la vulnerabilità della parete, infatti nel primo caso la massima PGA sopportabile è poco meno di 0,15 g, mentre nel secondo caso è compresa tra 0,20g e 0,25g. Inoltre, questi valori sono suscettibili di incremento tramite la sola sostituzione dell'elemento fusibile, M10 nel caso in esame.

CAPITOLO 9

CONCLUSIONI

9.1. Tematiche trattate e risultati conseguiti

Nel seguente lavoro di tesi si è svolta un'ampia campagna di prove sperimentali (132 test) al fine di caratterizzare meccanicamente il comportamento di pannelli di legno alleggeriti denominati *Porepan*. Si tratta di pannelli portanti ad elevato isolamento termico per coperture e pareti, costituiti da doppio tavolato con interposto isolante termico in polistirene espanso monostrato "eps". Essi costituiscono un prodotto altamente isolante che grazie alla sua particolare versatilità lo rende una valida alternativa al più utilizzato *X-LAM* per le costruzioni civili.

Lo scopo di questo lavoro è stato quello di valutare la possibilità di impiego dei pannelli nelle costruzioni civili sia come elementi portanti verticali (pareti) sia come elementi portanti orizzontali (solai). Più in dettaglio la campagna di prove si è differenziata in diversi gruppi. Nel primo gruppo si è valutata la resistenza dei materiali di base che caratterizzano il pannello *Porepan* ovvero: legno, eps e l'incollaggio. Poi è stata analizzata il caso di pannello *porepan* utilizzato come solaio considerando e non la presenza di una soletta collaborante in cls superiore. Poi è stato analizzato il pannello *porepan* come parete per resistente ai soli carichi verticali e successivamente ipotizzando un prototipo di parete *porepan* che resista anche ai carichi orizzontali. Più nel dettaglio si è valutata la resistenza all'instabilità per carichi verticali per provini di altezza di 2,70 m e successivamente la resistenza a compressione del legno netto e a flessione delle tavole che costituivano il provino, si è investigato il comportamento flessionale di solai *Porepan* con soletta superiore collaborante in c.a. a differenti luci (2,88 m e 4,50 m) ed il comportamento meccanico dell'eps.

I risultati ottenuti dalle prove di instabilità hanno dimostrato che i pannelli sono in grado di resistere a carichi verticali di gran lunga superiori ai carichi agenti su pareti tipo di edifici tradizionali in legno. Infatti essi hanno mostrato tensioni critiche di instabilità comprese tra i 190 ed i 220 kg/cm² di contro i valori di tensione media a compressione a cui lavorano questi pannelli per carichi verticali si aggirano intorno ai 5 ed i 10 kg/cm². Inoltre è stato possibile constatare che anche variando la posizione dei tozzetti lignei il carico critico non subisce notevoli cambiamenti, mentre si è reso indispensabile la presenza di bulloni passanti tra i pannelli in corrispondenza dei collegamenti lignei al fine di migliorarne il comportamento ultimo e la tipologia di rottura. In ogni caso i pannelli provati sono sicuramente idonei ad un loro utilizzo come elementi portanti verticali, presentando anche una buona resistenza alle azioni fuori piano, come dimostrato anche dalle prove a flessione.

Grazie alle prove effettuate a compressione e a flessione su tavole che costituivano questi pannelli, si è potuto determinare la resistenza a compressione media del legno netto pari a circa 460 kg/cm^2 e quella a flessione delle tavole pari a 565 kg/cm^2 . Questi valori ottenuti, in linea con quelli presenti in letteratura, hanno dimostrato come il legno è un materiale con ottime capacità resistenti e che quindi si adatta bene all'impiego nelle costruzioni civili. I risultati di queste analisi hanno permesso di effettuare una analisi critica del comportamento delle sezioni in legno. Nello specifico la presenza di difetti più o meno rilevanti, quali deviazione della fibratura e nodi hanno modificato notevolmente il comportamento ultimo e la duttilità. Nelle prove sui solai si è potuto constatare come il pannello *Porepan* ha delle buone capacità resistenti a flessione. Infatti i risultati ottenuti hanno mostrato (escludendo i casi in cui si sono manifestate rotture locali dei giunti) che questi pannelli possono essere impiegati come solai. Nello specifico si sono calcolati dei carichi allo SLE e allo SLU e sono stati confrontati con quelli "equivalenti" ottenuti dalle prove sperimentali. Dai primi risultati essi mostrano coefficienti di sicurezza dei carichi superiori a 2. Sarà sicuramente necessario effettuare, in futuro, delle verifiche di deformabilità e di resistenza per validare il loro utilizzo come meglio indicato nelle NTC08. Inoltre si è potuto confrontare il comportamento di questo pannello con e senza la presenza di una soletta collaborante. I risultati ottenuti mostrano come la presenza di una soletta collaborante in c.a. alleggerito incrementa la rigidità di circa il 35%. Tuttavia dalle prove sperimentali sono emerse delle criticità:

- Rottura atipica dei giunti a pettine tra le tavole
- Rottura a taglio dei collegamenti lignei

Queste criticità possono essere risolte attraverso un controllo maggiore nelle fasi produttive del pannello mediante opportune verifiche sulla presenza di colla tra i giunti a pettine e sul corretto posizionamento dei collegamenti lignei tra le tavole. Questi aspetti dimostrano come durante le fasi produttive e logistiche sia doveroso da parte dell'impresa produttrice un controllo serio ed accurato sulla qualità del prodotto da realizzare. In questo lavoro si è potuto determinare in maniera piuttosto accurata anche il comportamento meccanico dell'eps. Infatti mediante prove a compressione ed a taglio indiretto si sono potute determinare le resistenze di questo materiale e la tipologia di rottura. Inoltre si è potuto determinare anche il comportamento del sistema eps-tavola sotto carichi concentrati escludendo il pericolo di uno schiacciamento localizzato dell'eps e il comportamento tagliente del sistema tavola-eps-tavola. Infine si sono effettuate delle primissime prove sperimentali su pareti portanti porepan soggette a sole forze orizzontali. Dai primissimi risultati si è dimostrato che si possono realizzare pareti formate da tanti pannelli in cui solo pochi elementi devono plasticizzare e che il pannello in legno resti in campo elastico, anche se sembrerebbe ancora troppo deformabile questo tipo di parete. Questo però si inserisce in un più ampio lavoro di ricerca, portato avanti dal prof. Bruno Calderoni, teso alla caratterizzazione meccanica di questi pannelli in legno alleggeriti per la realizzazione di edifici in scala reale. I prossimi sviluppi riguarderanno il comportamento di questi pannelli soggetti a carichi verticali e forze orizzontali mediante prove sia monotone che cicliche, ed in particolare al sistema di collegamenti da realizzare per questi pannelli.